



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UNA RED INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES SDH  
SOBRE FIBRA ÓPTICA, CON INTERFACES ÓPTICAS STM-16 SUB-  
UTILIZADAS; ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y SU INTERCONEXIÓN A  
REDES LOCALES Y REGIONALES CON CAPACIDADES STM-16, STM-64 Y  
STM-N.**

**Godofredo Alexander Méndez**

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA RED INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES SDH  
SOBRE FIBRA ÓPTICA, CON INTERFACES ÓPTICAS STM-16 SUB-  
UTILIZADAS; ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y SU INTERCONEXIÓN A  
REDES LOCALES Y REGIONALES CON CAPACIDADES STM-16, STM-64 Y  
STM-N.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**GODOFREDO ALEXANDER MÉNDEZ**

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MAYO DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
VOCAL I: Inga. Glenda Patricia García Soria  
VOCAL II: Inga. Alba Maritza Guerrero de López  
VOCAL III: Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón  
VOCAL IV: Br. José Milton de León Bran  
VOCAL V: Br. Isaac Sultán Mejía  
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios  
EXAMINADOR: Ing. Mario Alberto Miranda  
EXAMINADOR: Ing. Edgar Neftaly Carrera Díaz  
EXAMINADOR: Ing. Saúl Cabezas Durán  
SECRETARIA: Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **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:

**DISEÑO DE UNA RED INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES SDH  
SOBRE FIBRA ÓPTICA, CON INTERFACES ÓPTICAS STM-16 SUB-  
UTILIZADAS; ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y SU INTERCONEXIÓN A  
REDES LOCALES Y REGIONALES CON CAPACIDADES STM-16, STM-64 Y  
STM-N,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 12 de agosto de 2005.

Godofredo Alexander Méndez.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- A Dios:** **Mi creador y protector.**
- Mi madre:** **María Clemencia Méndez Arana**  
Por su cariño, comprensión y apoyo incondicional.
- Mi esposa:** **Heidy Trabanino de Méndez**  
Por todo el tiempo y el amor que hemos compartido juntos.
- Mis hijos:** **Jonovan Méndez y Fabrizio Méndez**  
Por ser el motivo de inspiración para mis actos.
- Mi hermano:** **Edgar Roberto Ramírez Méndez**  
Por ser mi ejemplo de fortaleza y positivismo ante cualquier situación.
- Mi familia:** **Mi abuelita, tíos, tías, primas y primos.**  
Por formar parte esencial de la formación de mis valores y principios.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala:** **Por ser el centro educativo que me formó y educó, enseñándome la excelencia en toda actividad.**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Ing. Santiago Méndez**

Por su colaboración incondicional en todo momento.

**Ing. Byron Arrivillaga**

Por ser una persona dedicada y por todo el apoyo durante el proceso de mi formación académica.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XXV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XXVII</b>
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Servicios ofrecidos por la empresa.....	2
1.2.1. Servicios nacionales .....	2
1.2.2. Servicios internacionales/regionales .....	2
1.3. Aspectos tecnológicos generales de la red .....	3
<b>2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....</b>	<b>5</b>
2.1. Transmisión de señales.....	5
2.2. Fibra óptica.....	6
2.2.1. Historia.....	6
2.2.2. Características de la fibra óptica .....	8
2.2.3. Estándares .....	18
2.2.4. Tipos de fibra óptica.....	20
2.3. Redes .....	22
2.4. Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.....	24
2.4.1. Descripción general.....	24

2.4.2.	Capas Asociadas.....	25
2.5.	Introducción a los sistemas de transmisión sincrónica.....	27
2.6.	Jerarquía digital síncrona (SDH).....	28
2.6.1.	Aspectos generales.....	28
2.6.2.	Estructura de multiplexación.....	31
2.6.3.	Tipos de croconexión.....	35
2.6.4.	Parámetros ópticos.....	37
2.6.5.	Sincronismo.....	44
2.7.	Gestión de redes SDH.....	48
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE RED INTERNACIONAL STM-n CON INTERFACES STM-16 y STM-64 SUB-UTILIZADAS.....</b>	<b>51</b>
3.1.	Consideraciones generales.....	51
3.2.	Topología de red.....	53
3.3.	Planificación de redundancia de la red.....	57
3.3.1.	Concepto de redundancia.....	57
3.3.2.	Esquemas de protección.....	57
3.3.3.	Equipos multiplexores.....	66
3.3.4.	Continuidad de servicio.....	73
3.4.	Interconexión de la red SDH internacional con las redes locales.....	73
3.4.1.	Soporte de redes de distintas capacidades.....	73
3.4.2.	Interconexión ADMs & SDXCs.....	75
3.5.	Sistemas de gestión de equipos.....	76
<b>4.</b>	<b>DETALLES TÉCNICOS DEL DISEÑO FINAL.....</b>	<b>79</b>
4.1.	Descripción del diseño alcanzado.....	79
4.1.1.	Redes.....	79
4.1.2.	Configuración de equipos.....	88
4.1.3.	Materiales.....	94

4.2. Sincronismo de las redes .....	94
4.3. Pruebas a realizar.....	98
4.3.1. Pruebas de transmisión.....	98
4.3.2. Pruebas de sincronismo.....	101
4.3.3. Valores recomendados .....	101
4.4. Resultados .....	102
4.5. Esquemas finales .....	106
4.5.1. Redes y equipos .....	106
4.5.2. Sincronismo .....	107
4.5.3. Gestión .....	108
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>119</b>
Normativa nacional .....	119
Ley General de Telecomunicaciones .....	119
Entidades reguladoras de telecomunicaciones .....	120
UIT .....	120
CITEL .....	123
Recomendaciones internacionales aplicables .....	128



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Apertura numérica de la fibra óptica.....	9
2. Distribución de los campos electromagnéticos en el núcleo de la FO.....	13
3. Estructura de multiplexación SDH.....	33
4. Estructura de multiplexación SDH, basada en las normas UIT-T .....	34
5. Tipos de conectores utilizados en Fibra Óptica. ....	40
6. Diagrama de bloques de un equipo SDH con interfaz óptica. ....	42
7. Topologías comunes en redes de telecomunicaciones.....	56
8. Equipo Tellabs 6340 instalado en Nap de las Américas (POP Navega).....	68
9. Equipo Tellabs 6340 instalado en POP Proveedor Capacidad Submarina. ....	69
10. Equipo Tellabs 6350 instalado en Nap de las Américas (POP Navega).....	71
11. Arquitectura del sistema de gestión Tellabs 6300 Network Manager. ....	77
12. Diagrama general de la red esperada. ....	81
13. Diagrama de cobertura del proveedor de capacidad submarina.....	82
14. Diagrama de interconexión Navega-Proveedor en el Nap de las Américas. ....	84
15. Diagrama de interconexión Navega-Proveedor en el Nap de las Américas. ....	86
16. Esquema de STM-4 subutilizado, con 1x4AU-4 habilitado únicamente.....	87
17. Configuración de equipos a instalar en el Nap de las Américas. ....	91
18. Configuración de equipos a instalar en Puerto Barrios.....	93
19. Consideraciones de la red de sincronismo en Puerto Barrios. ....	96
20. Esquema final de equipos y redes. ....	109
21. Sincronía final del proyecto. ....	110
22. Elementos de gestión de los nodos del proyecto.....	111



## TABLAS

I. Características principales de Fibras Ópticas normalizadas.....	18
II. Tipos de Fibras Ópticas en el mercado internacional.....	20
III. Niveles jerárquicos STM-N. ....	30
IV. Sensibilidad del detector. ....	38
V. Características definidas por la UIT-T para sistemas ópticos.....	44
VI. Relojes involucrados en una red de sincronismo.....	45
VII. Comparación entre esquemas de protección .....	64
VIII. Códigos de aplicación para transceivers SDH. ....	73
IX. Niveles de calidad de reloj aceptados por equipo Tellabs.....	97
X. Resultados de pruebas de conexiones físicas.....	102
XI. Resultados de pruebas de TTI.....	103
XII. Resultados de pruebas de conmutación.....	105



## LISTA DE SÍMBOLOS

	Elemento principal – protección.
$\lambda$	Longitud de onda.
$\mu m$	Micrómetro ( $1 \times 10^{-6}$ metro).
$\Delta$	Delta. Cambio en una magnitud.
$\Phi$	Angulo.
$\eta_{seg}$	Nano-segundo ( $1 \times 10^{-9}$ segundo)
	Fuente de reloj o sincronía.
$\Pi$	Pi = 3.14159265... Razón constante entre la longitud de la circunferencia y su diámetro.
$\alpha$	Índice de refracción gradual parabólico
	Fibra Óptica
	Nube. Detalles de red desconocidos o poco relevantes.



## GLOSARIO

- ADM:** Son las siglas de Add and Drop Multiplexer. Equipo SDH utilizado como multiplexor de agregación y tributación.
- ADSL:** Son las siglas de Asymmetric Digital Subscriber Line ("Línea de Abonado Digital Asimétrica"). Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha.
- Backhaul:** También llamada red de retorno. Conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación. Un Backhaul es usado para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.
- Backup:** Hacer una copia de seguridad o copia de respaldo (backup en inglés, el uso de este anglicismo está ampliamente extendido) se refiere a la copia de datos de tal forma que estas copias adicionales puedan restaurar un sistema después de una pérdida de información. El término también es aplicable a elementos de red que son duplicados para su posible entrada en funcionamiento como prevención de un evento de falla en los elementos principales.

Backup Service:	El término se refiere a la prestación del servicio de backup, para almacenaje de datos. En este caso el cliente brinda acceso a sus equipos y la empresa prestadora del servicio se encarga de proveer el equipo necesario para realizar el backup.
BER:	Bit Error Ratio (Relación de bits errados). Es el número de bits errados dividido por el número total de bits transmitidos, recibidos o procesados en un período estipulado.
Bit:	Abreviatura usada para nombrar a un dígito binario. Carácter utilizado para representar uno de dos dígitos en el sistema de numeración basado en dos y únicamente dos posibles estados de un ente físico o sistema.
Byte:	Una secuencia de bits adyacentes (usualmente 8) considerados como una unidad. El término es sinónimo de octeto.
Clear Channel:	Se dice de una ruta que provee un ancho de banda completo para el servicio de un usuario en particular. No se utilizan señales de control o señalización en este tipo de enlaces.
Colocation:	Un centro de colocación (colo), comúnmente llamado hotel de carriers, es un tipo de central de datos en donde múltiples usuarios colocan elementos de redes, servidores y equipo de almacenamiento y se interconectan con una gran variedad de proveedores de servicios telecomunicaciones con un costo y complejidad mínimos.
Comunicaciones Inalámbricas:	Referido a las telecomunicaciones, se aplica el término inalámbrico (inglés wireless/sin cables/) al tipo de comunicación en la que no se

utiliza un medio de propagación físico, sino se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión.

**Core:** En telecomunicaciones, se refiere a un equipo o red que forma parte del núcleo que sostiene o permite la transmisión de todo el grueso de comunicaciones.

**Data center:** Se denomina centro de proceso de datos a aquella ubicación donde se concentran todos los recursos necesarios para el procesamiento de información de una organización. También se conoce como centro de cálculo. Dichos recursos consisten esencialmente en unas dependencias debidamente acondicionadas, computadoras y redes de comunicaciones. Los centros de proceso de datos se suelen denominar por su acrónimo: CPD. En inglés, se denomina Data Center.

**dB:** Abreviatura para decibel. Una décima parte del logaritmo común de la razón de las potencias relativas, igual a 0.1 B (bel). El decibel es la relación convencional para la potencia. Es adimensional.

**dBm:** Abreviatura para decibel referido a un miliWatt. dBm es utilizado en comunicaciones como medida de valores absolutos de potencia. Cero dBm es igual a 1 miliWatt.

**DWDM:** DWDM es el acrónimo, en inglés, de Dense wavelength Division Multiplexing, que significa Multiplexación por división en longitudes de onda densas. DWDM es una técnica de transmisión de

señales a través de fibra óptica. DWDM es un método de multiplexación muy similar a la Multiplexación por división de frecuencia que se utiliza en medios de transmisión electromagnéticos. Varias señales portadoras (ópticas) se transmiten por una única fibra óptica utilizando distintas longitudes de onda de un haz láser cada una de ellas. De esta manera se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra óptica, así como facilitar comunicaciones bidireccionales. Se trata de una técnica de transmisión muy atractiva para las operadoras de telecomunicaciones ya que les permite aumentar su capacidad sin tender más cables ni abrir zanjas.

Para transmitir mediante DWDM es necesario dos dispositivos complementarios: un multiplexor en lado transmisor y un demultiplexor en el lado receptor.

**Ethernet:** Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de ethernet. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama descrito más abajo, aunque no tenga CSMA/CD como método de acceso al medio.

**Frame Relay:** Frame Relay o (Frame-mode Bearer Service) es una técnica de comunicación mediante re-transmisión de tramas, introducida por la ITU-T a partir de la recomendación I.122 de 1988. Consiste en una

forma simplificada de tecnología de conmutación de paquetes que transmite una variedad de tamaños de tramas o marcos (“frames”) para datos, perfecto para la transmisión de grandes cantidades de datos.

La técnica Frame Relay se utiliza para un servicio de transmisión de voz y datos a alta velocidad, que permite la interconexión de redes de área local separadas geográficamente a un costo menor.

GBPS:  $1 \times 10^9$  bits por segundo.

HOA: Siglas en inglés para High Order Adaptation. Adaptación de alto orden. El término se refiere a una concatenación virtual que se realiza para permitir la interacción de elementos de alto orden con los de bajo orden de capacidades equivalentes dentro de la trama SDH.

Internet: Es una red mundial de computadoras con un conjunto de protocolos, el más destacado, el TCP/IP. Aparece por primera vez en 1969, cuando ARPAnet establece su primera conexión entre tres universidades en California y una en Utah. También se usa el término Internet como sustantivo común y por tanto en minúsculas para designar a cualquier red de redes que use las mismas tecnologías que Internet, independientemente de su extensión o de que sea pública o privada.

Cuando se dice red de redes se hace referencia a que es una red formada por la interconexión de otras redes menores.

IP: El Protocolo de Internet (IP, de sus siglas en inglés Internet Protocol) es un protocolo NO orientado a conexión usado tanto por

el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

Los datos en una red que se basa en IP son enviados en bloques conocidos como paquetes o datagramas (en el protocolo IP estos términos se suelen usar indistintamente). En particular, en IP no se necesita ninguna configuración antes de que un equipo intente enviar paquetes a otro con el que no se había comunicado antes.

**IPVPN:** VPN que utiliza únicamente tecnologías basadas en el protocolo internet para su funcionamiento.

**KBPS:** Mil Bits por segundo.

**Ley de Snell:** La ley de Snell es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord Snel van Royen (1580-1626).

La ley de Snell dice que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación la onda varíe.

**MBPS:** Un millón de bits por segundo.

- MPLS:** Siglas en inglés de Multiprotocol Label Switching. Es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF y definido en el RFC 3031. Opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI. Fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.
- NAP:** Siglas en inglés de Network Access Point. Punto de acceso de red. Instalaciones destinadas a las telecomunicaciones en donde los proveedores de servicios de red pueden intercambiar tráfico.
- ODF:** Siglas en inglés de Optical Distribution Frame. Es un elemento pasivo utilizado en telecomunicaciones para la terminación de hilos de fibra óptica. Es en esencia un panel utilizado para fibra óptica.
- OTN:** La UIT-T define una red de transporte óptico OTN (siglas en inglés de Optical Transport Network) como una red compuesta por un set de elementos de red ópticos interconectados entre sí por medio de enlaces de fibra óptica; capaces de proveer funcionalidad de transporte, multiplexación, ruteo, gestión, supervisión y supervivencia de canales ópticos que acarrean señales de clientes.
- PDH:** Jerarquía Digital Plesiócrona
- Peer to peer:** A grandes rasgos, una red informática entre iguales (en inglés peer-to-peer -que se traduciría de par a par- o de punto a punto, y más conocida como P2P [pedospe]) se refiere a una red que no tiene clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan

simultáneamente como clientes y como servidores de los demás nodos de la red. Este modelo de red contrasta con el modelo cliente-servidor el cual se rige de una arquitectura monolítica donde no hay distribución de tareas entre sí, solo una simple comunicación entre un usuario y una terminal en donde el cliente y el servidor no pueden cambiar de roles.

**Peering:** El peering es la interconexión voluntaria de redes de Internet administrativas separadas con el fin de intercambiar tráfico entre los clientes de cada red. La definición pura es el establecimiento libre que significa que ninguno de los dos partidos paga al otro el tráfico intercambiado, en lugar, cada uno deriva las ganancias de sus propios clientes.

**POP:** Siglas en inglés de point-of-presence (POP). Punto de presencia. Es un punto de demarcación artificial o punto de interfaz entre entidades de comunicaciones. El término inició en Estados Unidos en referencia al lugar en donde un operador de larga distancia podía terminar servicios y proveer conexiones hacia la red local telefónica.

**Reloj:** Fuente de referencia de información de temporización. Dispositivo que provee señales usadas en sistemas de comunicación para ciertas funciones esenciales de transmisión.

**Rx:** En telecomunicaciones, se refiere a una línea de recepción de datos. Esta puede ser física o lógica.

**Satélite:** Satélites de telecomunicaciones: estos satélites se utilizan para transmitir información de un punto a otro de la Tierra, en particular,

comunicaciones telefónicas, datos o programas televisados. Estos últimos se difunden principalmente por la flota Eutelsat (Hot-Bird, Atlantic BIRD 3, W1,2,3...) y la flota SUS -Sociedad Europea de Satélites- (Astra 1 y 2).

SDH: Jerarquía Digital Síncrona

SDXC: Cross-Conector Digital Síncrono. Se dice de un equipo de telecomunicaciones que es capaz de realizar cross-conexiones digitales. El término se utiliza ampliamente en redes de transmisión SDH/SONET.

Teoría corpuscular de Newton: La teoría corpuscular de Newton consiste en la explicación, tipo mecanicista, que pretendía explicar la naturaleza de la luz. Resumiendo Newton sostenía que la luz estaba formada por pequeños corpúsculos que se movían a enorme velocidad, de acuerdo a su propuesta Newton explicaba correctamente la reflexión, pero, no podía explicar otros fenómenos. Huyghens elaboró la teoría ondulatoria, la luz era una onda similar al sonido. Con esta visión se podían explicar la reflexión y la refracción con lo cual supera a la teoría corpuscular. Hoy manejamos la teoría de los cuantos según la cual la luz está formada por fotones que son "paquetes de energía" que excitan los órganos de la visión. De alguna manera esta teoría asimila la corpuscular de Newton con la ondulatoria de Huyghens.

Troncal: En una red de comunicaciones, es un canal de transmisión único entre dos puntos que pueden ser centros de conmutación o nodos.

Las troncales pueden ser utilizadas para interconectar equipos de telecomunicaciones para formar redes.

TTI: Siglas de Trace Trail Identifier. Etiquetas que pueden enviarse embebidas dentro de los encabezados SDH, cuyo fin es presentarse con otro equipo SDH e identificar con una palabra el objeto de su transmisión. Generalmente son enviadas en numeración hexadecimal.

Tx: En telecomunicaciones, se refiere a una línea de transmisión de datos. Esta puede ser física o lógica.

VoIP: Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado Voz sobre IP, VozIP, VoIP (por sus siglas en inglés), o Telefonía IP, es el enrutamiento de conversaciones de voz sobre redes basadas en IP, como por ejemplo, Internet. Los Protocolos que son usados para llevar las señales de voz sobre la red IP son comúnmente referidos como protocolos de voz sobre IP o protocolos IP. Pueden ser vistos como implementaciones comerciales de la Red experimental de Protocolo de voz (1973), inventada por ARPANET. El tráfico de voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo redes de área local (LAN).

VPN: Siglas en inglés de Virtual Private Network. La VPN es una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública o no controlada, como por ejemplo Internet. El ejemplo más común es la posibilidad de conectar dos o más sucursales de una empresa utilizando como vínculo Internet, permitir a los miembros del equipo de soporte técnico la conexión desde su

casa al centro de cómputo, o que un usuario pueda acceder a su equipo doméstico desde un sitio remoto, como por ejemplo un hotel. Todo esto utilizando la infraestructura de Internet.



## RESUMEN

El presente informe brinda un compendio de los trabajos teóricos y prácticos que se realizaron para llevar a cabo el diseño de una red de telecomunicaciones internacionales por fibra óptica basada en el estándar SDH (Synchronous Digital Hierarchy o Jerarquía Digital Síncrona); así como del diseño propiamente alcanzado. La particularidad que separa este diseño de otros es que, para efectos más comerciales que técnicos se han utilizado interfaces STM-16 en los extremos; con un transporte y todas las posibilidades técnicas consideradas para su gradual crecimiento por unidades de AU-4 hasta alcanzar su capacidad total. En el cuerpo del trabajo se explican los principios en los cuales se ha basado el autor para poder hacer uso de dispositivos STM-n sub-utilizados.

Los primeros dos capítulos presentan una breve descripción de la empresa para la cual se llevó a cabo el diseño, así como la parte teórica sobre la cual se sustenta. Mientras que en los últimos se detallan aspectos de configuración, protecciones utilizadas, tipos de interfaces, sincronismo, pruebas y otros temas relacionados con el diseño final alcanzado. Se incluyen los tipos de equipos utilizados, sitios involucrados y detalles del sistema de gestión.

Descritos los aspectos técnicos más relevantes; se toman en cuenta también aspectos económicos y comerciales que influyen en el diseño del proyecto. En los apéndices también se describen aspectos legales (reglamentos, normas, entidades reguladoras), tanto para la parte nacional como para la parte internacional del proyecto. Cuestiones que todo ingeniero debe tomar en cuenta al realizar un diseño.



# OBJETIVOS

## GENERALES:

1. Completar el diseño del proyecto, utilizando todos los conocimientos y fuentes relacionadas con las redes de transmisión de telecomunicaciones.
2. Soportar de manera adecuada los principios en los cuales se basa el diseño del proyecto, tomando en cuenta las diferencias sustanciales que existen en este proyecto con otros de su tipo, las cuales son principalmente del tipo económico, más no técnico.
3. Hacer un diseño tal, que permita su pronta adaptación a las redes existentes y su acoplamiento con las redes futuras para crecimiento, mejoras o cambios de tecnología.

## ESPECÍFICOS:

1. Recopilar información teórica y práctica relacionada con los tipos de redes de telecomunicaciones de mayor aplicación en la actualidad; como las redes SDH. Dichos conceptos deberán incluir detalles técnicos relacionados con el diseño, configuración de equipos, resolución de fallas, sincronía e interconexión.
2. Aplicar los conceptos recopilados, en conjunto con el aprendizaje que se obtuvo a través del curso de la carrera de ingeniería; para generar el diseño de una red internacional de telecomunicaciones rentable, eficiente, escalable, flexible y robusta.

3. Revisar que el diseño concebido cumpla con las expectativas comerciales de la empresa; así como con los parámetros técnicos pertinentes que se encuentren disponibles hoy día por parte de las entidades nacionales e internacionales expertas en materia de telecomunicaciones.
4. A partir del diseño generado, entregar a la empresa la documentación necesaria para que se lleve a cabo una implementación exitosa del proyecto en todos los sentidos.
5. Presentar al lector, de manera adecuada toda la información y pasos que se han seguido a través del ejercicio de práctica supervisada; para poder alcanzar la debida culminación del proyecto.

# INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica y el acelerado desarrollo en materia de telecomunicaciones, es hoy en día, una realidad a la cual nuestro país no puede escapar. Empresas actuando en franca competencia ofrecen una amplia gama de posibilidades y soluciones, a fin de cubrir y exceder las expectativas de un cliente para el cual la comunicación expedita, más que un deseo, es una necesidad básica. Entidades pioneras en el área han expandido sus operaciones más allá de las fronteras nacionales, lo cual ha obligado a su vez a la implementación de modernos sistemas de comunicaciones, con características superiores.

En las siguientes páginas de este material encontrará un compendio del Ejercicio de Práctica Supervisada de este servidor, que pretende describir el diseño de una red de telecomunicaciones a nivel internacional basada en un sistema de Jerarquía Digital Sincrónica, con un sistema alternativo de protección de transmisión (redundancia); así como los aspectos necesarios para su implementación e interconexión a las redes SDH locales y regionales, cuyas capacidades varían a nivel STM-n. Utilizando equipos y tecnologías de punta para conformar lo que podemos llamar una red óptica de telecomunicaciones (se dice de aquellas redes que utilizan como medio de transmisión la fibra óptica) rentable, eficiente, escalable, flexible y robusta.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se planifica consolidar los trabajos asociados dentro del denominado Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) basándome principalmente en el contenido que a continuación se describe:

- Conceptos básicos de la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- Prerrogativas a ser tomadas en cuenta en la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- Consideraciones teóricas y prácticas relacionadas con las redes de telecomunicaciones que utilizan la comunicación digital SDH por fibra óptica.

- Consideraciones para el diseño y puesta en servicio de rutas internacionales SDH, sus parámetros técnicos recomendados, así como esquemas existentes de protección para el tráfico y su posible interacción entre ellos.
- Integración de rutas alternativas (redundantes) internacionales SDH y sus consideraciones a fin de brindar protección a los servicios y hacer uso eficiente y racional de los recursos.
- Interconexión de redes internacionales SDH de capacidad STM-n utilizando interfaces STM-16 sub-utilizadas como terminales de línea hacia redes SDH locales y regionales con capacidades distintas STM-16 y STM-64.
- Consideraciones prácticas para realizar mediciones end-to-end para rutas internacionales, a nivel de STM-N, DS-3, E1.
- Aspectos reglamentarios que deben tomarse en cuenta para la implementación de redes internacionales.
- Normativa del Sector de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, que aplica a la puesta en servicio y operación de redes internacionales.

Lo anterior no es más que una descripción de las piezas de mayor importancia que, a mi criterio, acompañan a un proyecto que se llevará a cabo en la empresa para la cual actualmente laboro; Navega.Com.

# 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

## 1.1. Antecedentes

Navega.com se presenta al mercado guatemalteco como una nueva y superior alternativa en el transporte de comunicaciones corporativas; hoy en día pionera en tecnologías de video, voz y datos.

Los inicios del concepto de Navega.com surgen hacia el año 1999, como una alianza estratégica entre Comcel, del grupo Millicom; Iberdrola, Electricidad de Portugal y Teco Energy.

Comcel es una de las empresas líder en servicios de telecomunicaciones en Guatemala, que cuenta con una red nacional de telefonía celular, mas de 50 mil usuarios de Internet y genera varios millones de minutos mensuales en larga distancia internacional y local.

Iberdrola es una empresa multinacional que provee generación y distribución de energía eléctrica; cuenta con más de 8 millones de clientes en España y 5 millones en Latinoamérica e ingresos anuales por más de nueve mil millones de dólares de los Estados Unidos de América. Iberdrola también cuenta con redes de telecomunicaciones, las que en total superan los 8 mil kilómetros de fibra óptica solo en España y provee servicios a más de 35 operadores de comunicaciones.

Electricidad de Portugal, es el único distribuidor y el generador más grande de energía eléctrica de Portugal. Cuenta con más de cinco millones de subscriptores e ingresos anuales que superan los seis mil millones de dólares de los Estados Unidos de América. Además tiene inversiones en el área de telecomunicaciones, con presencia en América Latina, África y Asia. Cuenta con una red de más de 20 mil kilómetros de fibra óptica que cubre más del 80 por ciento del territorio Portugués.

Teco Energy Company, es el conglomerado de empresas ubicado en Tampa Florida Estados Unidos, que tiene operaciones de generación y distribución de electricidad con

ingresos anuales que superan los dos mil millones de dólares de los Estados Unidos de América.

## 1.2. Servicios ofrecidos por la empresa

### 1.2.1. Servicios nacionales

Actualmente Navega cuenta con infraestructura en todo el país, lo que le permite ofrecer un amplio portafolio de servicios de telecomunicaciones, entre los que se encuentran,

*Enlaces de fibra óptica sobre redes SDH:* Navega cuenta con anillos de 90 hilos de fibra óptica, mediante los cuales se ofrecen servicios de canal claro (*Clear Channel*), con anchos de banda que van desde 2.048 Mbps hasta varios Gbps de capacidad.

*Enlaces PDH:* Utilizando como infraestructura matriz las redes SDH y agregando la versatilidad de las redes de acceso PDH, se ofrecen también enlaces dedicados de datos, voz, Internet, etc. Manejando en principio todas las velocidades aceptadas para las transmisiones PDH, desde 64Kbps.

*Fibra Oscura:* Este servicio es dedicado principalmente a empresas de telecomunicaciones prestadoras de servicios (*carriers*), cuyas necesidades de cobertura son abastecidas por la basta red de fibra óptica con la que cuenta Navega. Básicamente para este servicio puede entregarse cualquier cantidad de hilos de fibra óptica en cualesquiera dos o más puntos de la red nacional de Navega; para que éstos sean utilizados por los equipos de telecomunicaciones del cliente.

*Enlaces de fibra óptica Metro Ethernet:* Navega cuenta con anillos de fibra óptica en las principales metrópolis del país; utilizando tecnologías IP, MPLS, Giga Ethernet, ADSL; se ofrecen servicios que superan cualquier expectativa de clientes corporativos.

### 1.2.2. Servicios internacionales/regionales

Navega cuenta con redes de telecomunicaciones propias en toda Centroamérica, así como también se cuenta con alianzas estratégicas que permiten a la empresa expandir sus servicios en Norteamérica, El Caribe y parte de Sudamérica. El portafolio de soluciones que se ofrece a nivel regional e internacional comprende servicios internacionales Clear Channel, IP – VPN, MPLS, VoIP, Frame Relay, Internet, etc.

Teniendo presencia en el Nap de las Américas, Miami, Florida, Navega ofrece también servicios de Remote Backup, Manage Disk Storage, Manage Backup Service, Colocation. Dichas aplicaciones están enfocadas principalmente a resolver las necesidades de comunicaciones de empresas multinacionales y regionales que requieren estar en contacto continuo con sus sucursales a lo largo y ancho del continente.

### **1.3. Aspectos tecnológicos generales de la red**

Tanto en el ámbito local como regional, Navega cuenta con Redes Core: las plataformas sobre las cuales están montadas las redes de telecomunicaciones de Navega, funcionan principalmente con tecnologías SDH, Giga Ethernet, MPLS e IP. Cuenta con equipos de concentración masiva de tráfico, que se encuentran ubicados en los principales puntos de presencia (POPs) de los países en los que se tienen operaciones, desde donde se interconectan las distintas redes, así como se sirve a operadores locales e internacionales.

Redes de Acceso: en cuanto a redes de acceso se cuenta con una amplia variedad de soluciones PDH, Ethernet, Wireless, Satelital, Frame Relay, MPLS, ADSL, IP; mediante las cuales se entregan soluciones apegadas a las necesidades individuales de los clientes.



## 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

### 2.1. Transmisión de señales

En la transmisión analógica, la señal que transporta la información es continua, en la señal digital es discreta. La forma más sencilla de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados.

Para identificar una gran cantidad de información que se codifica en un número específico de bits, el cual se conoce como caracter.

En la transmisión digital existen dos notables ventajas, lo cual hace que tenga gran aceptación cuando se compara con la analógica. Estas son:

- El ruido no se acumula en los repetidores.
- El formato digital se adapta por sí mismo de manera ideal a la tecnología de estado sólido, particularmente en los circuitos integrados.

La mayor parte de la información que se transmite en una red portadora es de naturaleza analógica, al convertir estas señales al formato digital se pueden aprovechar las dos características anteriormente citadas.

#### Transmisión de Datos en Serie

En este tipo de transmisión los bits se trasladan uno detrás del otro sobre una misma línea, también se transmite por la misma línea.

Este tipo de transmisión se utiliza a medida que la distancia entre los equipos aumenta a pesar que es más lenta que la transmisión paralelo y además menos costosa. Los transmisores y receptores de datos serie son más complejos debido a la dificultad en transmitir y recibir señales a través de medios de gran longitud.

La transmisión serie es síncrona si en el momento exacto de transmisión y recepción de cada bit está determinada antes de que se transmita y reciba. Es asíncrona cuando la

temporización de los bits de un carácter no depende de la temporización de un carácter previo.

### Modos de Transmisión de Datos

Según el sentido de la transmisión podemos encontrarnos con tres tipos diferentes:

#### Simplex:

Este modo de transmisión permite que la información discorra en un solo sentido y de forma permanente, con esta fórmula es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea. Como ejemplos de la vida diaria tenemos, la televisión y la radio.

#### Half Duplex.

En este modo, la transmisión fluye como en el anterior, o sea, en un único sentido de la transmisión de dato, pero no de una manera permanente, pues el sentido puede cambiar. Como ejemplo tenemos los radios Walkie Talkie.

#### Full Duplex.

Es el método de comunicación más aconsejable, puesto que en todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente.

## 2.2. Fibra óptica

### 2.2.1. Historia

Hacia los años 1870 J. Tyndall había realizado una demostración de propagación de luz en un cilindro transparente con agua. Los efectos de reflexión se conocen desde el siglo IV AC y de refracción desde el siglo II AC (Ptolomeo).

Es N. French, en 1934 quien patenta el teléfono óptico. En 1950 las fibras ópticas con una gran atenuación eran usadas en endoscopia e instrumentación. Pero es a partir de 1970 cuando la Corning G.W. logra fibras de  $20 \text{ dB/Km}$  y C.A. Burrus de la Bell Labs

desarrolla el láser de onda continua de Arseniuro de Galio cuando se produce el verdadero despegue de los sistemas ópticos.

Cuando C.K.Kao indicó la posibilidad de reducir la atenuación para ser usadas en transmisión, se tenían los valores de  $103 \text{ dB/Km}$ . En 1970 se obtienen valores alentadores de atenuación:  $20 \text{ dB/Km}$ . Y luego en 1972 se tienen  $4 \text{ dB/Km}$ , en 1974 se tiene  $2.2 \text{ dB/Km}$ ; en 1976 se llega a  $1.6 \text{ dB/Km}$ ; en 1980 se arriba al límite teórico de  $0.2 \text{ dB/Km}$ . En el año 2000, con fibras ópticas con flúor, se tendrán  $10^{-3} \text{ dB/Km}$ . Esta secuencia ilustra como se ha precipitado el avance tecnológico y es coincidente con todas las ramas de la ciencia y la tecnología.

El primer sistema de fibras ópticas se realizó para aplicaciones militares en 1973, la Western Electric lo aplicó en Atlanta en 1976 para telefonía comercial. El uso comercial de las fibras ópticas se pensó en un principio con propagación monomodo, pero los problemas de acoplamiento entre núcleos llevaron a crear las fibras ópticas multimodo con perfil gradual como solución alternativa. A partir de 1985, en telecomunicaciones, sólo se usan fibras ópticas monomodo.

Originalmente se usó la primera ventana ( $0.85 \mu\text{m}$ ) debido a dos razones: en principio, la atenuación producida por los iones OH sobre la segunda ventana ( $1.30 \mu\text{m}$ ) impedían alcanzar los límites teóricos. Con el perfeccionamiento de los métodos de fabricación se llegó a los límites teóricos de atenuación (dispersión de Rayleigh) y la segunda ventana resultó ser más interesante que la primera. La segunda razón es el tipo de semiconductor que es usado para la emisión. En la primera ventana se usan derivados de Arseniuro de galio y en la segunda derivados de Fosfuro de indio. Los primeros estaban disponibles con anterioridad debido a la aplicación en microondas desde 1960. La segunda ventana es muchas veces más atractiva que la primera por tener valores de atenuación sólo algo mayor y tener el mínimo de dispersión cromática.

Los nuevos desarrollos en fibras ópticas tienen varias líneas de investigación. Las fibras policristalinas tienen muy pobres propiedades mecánicas y sufren de esparcimientos de las señales inducidas. Los vidrios de Germanio son de fácil producción pero tienen una

longitud de onda de corte reducida. Los vidrios calcónidos tienen un mínimo ancho de banda teórico de  $0.01 \text{ dB/Km}$  a  $4.54 \mu\text{m}$ . Los vidrios fluorados son los más interesantes con atenuación de  $0.001 \text{ dB/Km}$  a  $3.44 \mu\text{m}$ . Por ejemplo, ya se producen fibras de flúor con diámetro de  $150 \mu\text{m}$  y NA de 0.2 debajo de  $1 \text{ dB/Km}$  entre  $0.5 \mu\text{m}$  y  $2.0 \mu\text{m}$ .

### 2.2.2. Características de la fibra óptica

Las características de la fibra óptica se miden de acuerdo con normas del IEC 793, entre ellas se encuentran: la dispersión cromática, la longitud de onda de corte, el diámetro del campo modal, las dimensiones geométricas, el campo lejano y las características mecánicas.

La fibra óptica (*FO*) se encuentra compuesta de 3 capas de material:

- El centro o núcleo (*Core*), cuya estructura y dimensiones dependen del tipo de FO y está fabricado en dióxido de Silicio y dióxido de Germanio.
- El revestimiento (*Cladding*) de  $125 \mu\text{m}$  de diámetro y construido de dióxido de silicio.
- El recubrimiento primario (*Coating*) de acrilato y  $245 \mu\text{m}$  de diámetro.

El núcleo retiene casi la totalidad del campo transportado; el revestimiento de  $125 \mu\text{m}$  permite definir en torno del núcleo un índice de refracción levemente (1%) inferior; el recubrimiento de  $245 \mu\text{m}$  ofrece una protección contra la oxidación del dióxido de Silicio debido a la humedad del ambiente.

Para efectos del presente trabajo, se clasificarán las características de acuerdo a los siguientes criterios:

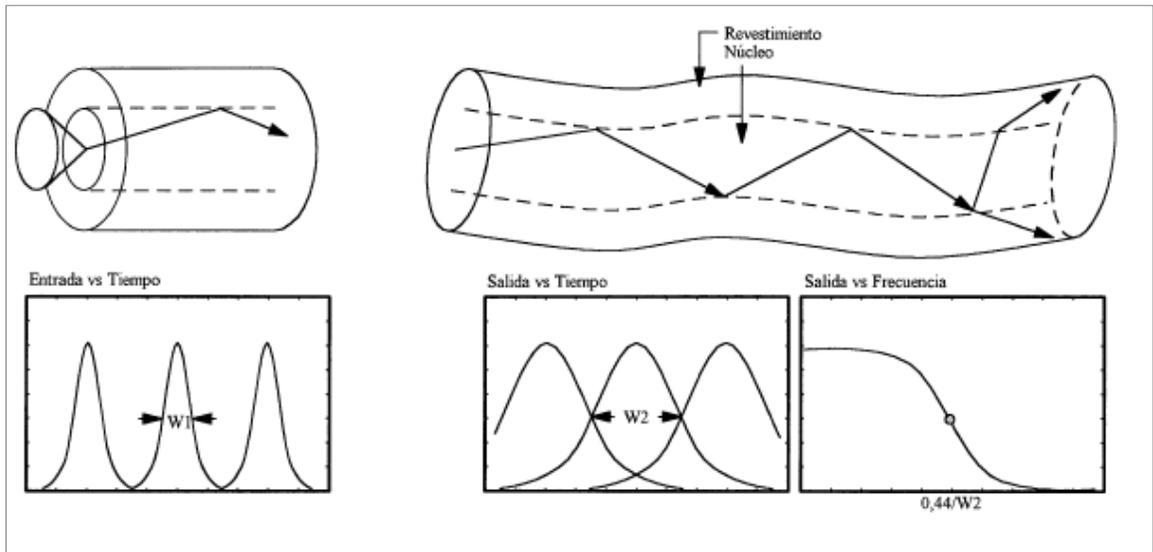
**Características dimensionales y geométricas:** radio del núcleo y el revestimiento, concetricidad, circularidad.

**Características ópticas:** apertura numérica, perfil del índice de refracción, diámetro del campo monomodal, dispersión modal y cromática, etc.

**Características de transmisión:** ancho de banda, atenuación.

Un análisis válido se puede plantear con la ayuda de la física clásica (Teoría Corpuscular de Newton), que considera a la luz como un corpúsculo o partícula. Si se hace incidir la luz sobre una superficie plana que separa a dos medios dieléctricos con distinto *índice de refracción*, se obtiene que: parte de la energía se refleja (rebota con un ángulo de reflexión igual de incidencia) y parte se refracta (atraviesa la superficie variando el ángulo según la ley de Snell). Este último resultado se observa en la Figura 1.

Figura 1. Apertura numérica de la fibra óptica



En la teoría clásica de electromagnetismo la energía electromagnética se comporta como una partícula para la reflexión y como una onda para la refracción. Esto da lugar a la denominada dualidad onda-partícula de la teoría cuántica. En la misma figura se muestra a la fibra óptica como un cilindro con dos capas concéntricas de material altamente transparente. El interior se denomina núcleo (*core*) y el exterior revestimiento (*cladding*). Los índices de refracción se indican como  $n_1$  y  $n_2$ . El índice  $n_1$  es levemente mayor que  $n_2$ , cerca del 1%. Mediante la ley de Snell se puede indicar que:

$$\text{Sen}(I) \cdot n_1 = \text{Sen}(R_C) \cdot n_2 \quad \text{e} \quad I = R_x$$

En donde  $I$  es el ángulo del rayo de incidencia,  $R_x$  el ángulo de reflexión y  $R_c$  el ángulo de refracción. Se tiene entonces que para un valor determinado de  $I$  el ángulo  $R_c$  vale  $90^\circ$ , se produce entonces la denominada reflexión total de la energía incidente. Todos los rayos de luz que inciden sobre la interfaz núcleo-revestimiento con ángulo superior a dicho valor  $I$  se reflejan y se encontrarán guiados dentro del núcleo gracias a múltiples reflexiones.

Debido a la simetría circular se tiene que todos los rayos de luz que inciden dentro del cono con ángulo  $\Phi$  se encontrarán con un ángulo mayor al crítico y por lo tanto serán guiados dentro del núcleo sin refracción. Los que estén fuera del cono sufrirán sucesivas refracciones y se atenuarán paulatinamente en los primeros metros de fibra óptica. Incluso en pequeñas curvaturas cambiarán las condiciones de reflexión y existirá refracción parcial introduciendo una atenuación sobre la energía propagada, como se muestra en la Figura 1.

Se denomina **apertura numérica NA** (*Numerical Aperture*) al valor sin unidad;

$$NA = \text{Sen}\Phi = (n_{12} - n_{22})^{1/2}$$

Los valores típicos reales de NA se encuentran entre 0.2 y 0.25. Una elevada NA permite un mejor acoplamiento (mayor introducción de luz en el núcleo), pero incrementa la atenuación.

Si dos fibras ópticas tienen igual NA se tiene que el ángulo de emisión de luz es igual al de aceptación de la siguiente y por lo tanto se produce un acoplamiento de luz perfecto. En los cables de cobre la característica que determina una condición semejante es la impedancia de la línea  $Z_o$ . Si dos líneas tienen igual impedancia  $Z_o$  el acoplamiento de energía es completo y no existe onda reflejada (Pérdida de retorno). Por lo tanto, se suele comparar la característica de apertura numérica de las fibras ópticas con la impedancia característica de las líneas o guías de ondas.

En el tipo de fibra óptica mostrada en la Figura 1, denominada multimodo, los distintos rayos propagados recorren distintos caminos, sufriendo, según el ángulo, distintas reflexiones. Se tiene de esta forma que al introducir en el extremo de la fibra óptica un

impulso de luz, en el otro extremo se produce una dispersión en la llegada de los distintos rayos. En otras palabras, si se inyecta a un mismo tiempo un determinado número de fotones en la salida se identificarán en el tiempo debido a los distintos recorridos. En realidad, la identificación de cada fotón requiere de un instrumento de detección de muy alta velocidad de respuesta, como el contador de fotones. Con instrumentos de detección más simples se obtiene una medida que es la integración de la energía recibida y se asocia generalmente a un pulso de forma gaussiana.

A esta dispersión o apertura del impulso de ingreso es denominada modal o intermodal análogamente a lo que en la teoría electromagnética se denomina modo de propagación al rayo de la física clásica. La definición de la **dispersión modal** se realiza con pulsos gaussianos de entrada y salida, escribiéndose como:

$$W_m = (W_{s2} - W_{e2})^{1/2}$$

Donde  $W_e$  es la apertura del impulso de entrada a mitad de altura y  $W_s$  la apertura de la salida. La dispersión modal resulta ser el ensanchamiento adicional del pulso de entrada. Al considerar al pulso en el tiempo con forma de onda gaussiana se puede escribir:

$$S(t) = \exp \left[ -2.77 \cdot \left( \frac{t}{W_m} \right)^2 \right]$$

Para conocer las características de transferencia de la fibra óptica debemos encontrar la transformada de Fourier de S(t):

$$S(f) = 0.17 \cdot W_m \cdot \exp \left[ -3.56 \cdot f^2 \cdot W_m^2 \right]$$

De esta forma se tiene que el **ancho de banda** definido a 3 dB de atenuación de potencia óptica respecto al nivel en 0 Hz será:

$$AB = \frac{0.44}{W_m}$$

Obsérvese de la expresión que el ancho de banda es inversamente proporcional a la dispersión modal  $W_m$ . El valor de  $W_m$  se expresa por unidad de longitud de la FO.

Siendo comunes las unidades  $\eta^{seg}/Km$ . El ancho de banda AB disminuye con el

incremento de la longitud del enlace y se expresa en unidad de  $MHz \cdot Km$ . En otras palabras, dada una longitud de enlace se tiene un valor límite de separación temporal entre pulsos de información sin exceder una superposición tolerable. Con mayor velocidad los pulsos adyacentes se interfieren y se incrementa la tasa de error de bit BER.

Como la corriente eléctrica es proporcional a la potencia óptica, es decir que la potencia eléctrica es proporcional al cuadrado de la potencia óptica, los 3 dB ópticos corresponden a 6 dB eléctricos.

Existen dos formas de reducir la dispersión modal para incrementar el ancho de banda disponible de la fibra óptica: produciendo una variación gradual del perfil del índice de refracción y permitiendo la propagación de un solo modo. De esta forma, se logra clasificar las fibras ópticas.

- Según el perfil del índice de refracción: abruptas (o salto de índice) y graduales
- Según el número de modos de propagación: multimodo (más de un modo) y monomodo.

Un resumen de la cadena de acontecimientos que van atados a la propagación de la luz dentro de la fibra óptica podría ser el siguiente:

La dispersión modal se produce porque los distintos modos de propagación recorren distintos caminos en distinto tiempo.

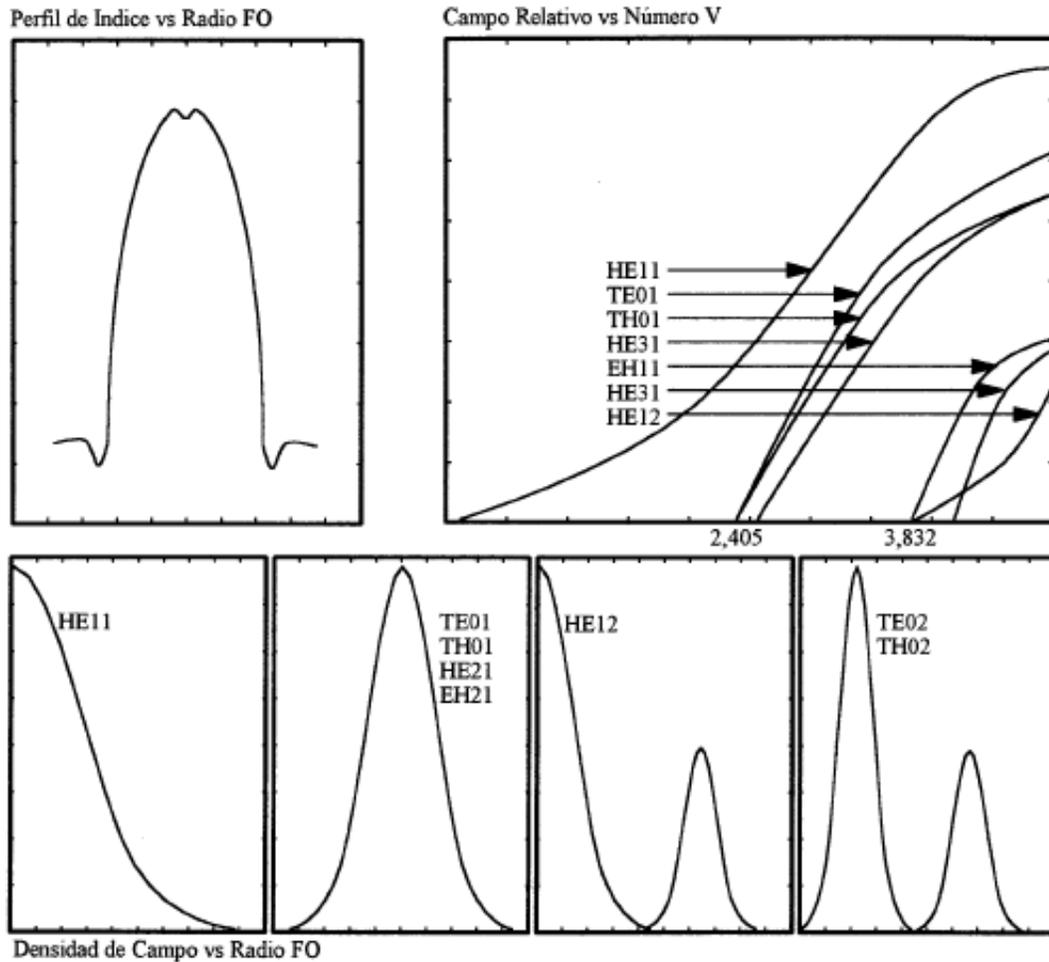
La velocidad de propagación del modo en el medio dieléctrico es  $c/n$  ( $c$  la velocidad de la luz en el vacío  $3 \cdot 10^8 \text{ Km/s}$ ).

De esta forma los rayos que recorren mayor camino lo hacen por la periferia del núcleo.

Lo hacen allí donde el índice de refracción es menor que en el centro y donde la velocidad también es mayor.

Luego: la mayor longitud de recorrido se compensa con la mayor velocidad de propagación.

Figura 2. Distribución de los campos electromagnéticos en el núcleo de la FO.



En la Figura 2 se ha representado a la fibra de índice gradual con un recorrido de rayos que se curvan suavemente debido a que no existe una interfaz abrupta entre el núcleo y el revestimiento. Se demuestra que el mínimo de  $W_m$  se logra cuando el perfil del índice responde a la ley:

$$n(r) = n(0)^2 - AN^2 \cdot (r/ra)^\alpha \text{ con } n(0) = n_1 \text{ y } n(ra) = n_2$$

donde  $ra$  es el radio del núcleo y  $\alpha$  un exponente que depende del material y de la longitud de onda que se transmite. El valor óptimo de  $\alpha$  se encuentra cercano a 2 y puede describirse como:

$$\alpha_{opt} = 2 - 2 \cdot P_O - \beta \cdot (2 - P_O) \quad \text{con} \quad \beta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad \text{y} \quad P_O = \left(\frac{n}{n_g}\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{\beta}\right) \cdot \left(\frac{d\beta}{d\lambda}\right)$$

donde el término  $d\beta/d\lambda$  indica la dependencia del material y  $n_g$  es el índice de refracción de grupo:

$$n_g = n - \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Se observa que una fibra óptica del tipo multimodo con perfil de índice de refracción gradual parabólico ( $\alpha$  cercano a 2) es optimizada para trabajar en una longitud de onda. Existen fibras ópticas que se denominan de doble ventana que tienen anchos de banda similares, pero reducidos en ambas longitudes de onda. La apertura numérica en estas fibras ópticas se reduce desde el centro del núcleo hacia la periferia debido a la reducción del índice. Se define NA para la fibra óptica de índice gradual al valor que se calcula en el centro del núcleo.

El análisis de las fibras ópticas mediante la propagación de ondas lleva a la siguiente conclusión: el número de modos de propagación  $N$  dentro del núcleo es finito y puede aproximarse por:

$$N = \frac{(\alpha \cdot V^2)}{2 \cdot (\alpha + 2)} \quad \text{donde} \quad V = \frac{2\pi \cdot r_a \cdot AN}{\lambda}$$

De forma que el número de modos de propagación depende del perfil del índice, del radio del núcleo  $r_a$ , de la longitud de onda  $\lambda$  y de la AN. El número  $V$  se denomina **frecuencia normalizada**.

De acuerdo con lo indicado, existe el perfil abrupto y gradual, que corresponde a:

$$\text{-Índice abrupto } (\alpha = \infty); \quad N = V^2 / 2$$

$$\text{-Índice gradual } (\alpha = 2); \quad N = V^2 / 4$$

Esta aproximación es válida cuando  $N$  es mayor a la unidad.

El número de modos de propagación disminuye con el incremento de la longitud de onda y crece con el aumento del radio.

### ***Longitud de onda de corte***

Otra solución para disminuir la dispersión modal es la reducción del número de modos a la unidad (N=1), obteniendo la denominada fibra óptica monomodo. A partir de 1985 solo las fibras monomodo se usan en telecomunicaciones; las multimodo se reservan para redes de datos de corta longitud.

En la Figura 2 se tiene la densidad de potencia de cada modo de propagación en función del radio del núcleo. Los picos de potencia cercanos a la periferia de los modos de orden superior justifica que el esquema de propagación de rayos se dibuje helicoidalmente. En la misma figura se tiene la densidad de potencia relativa entre los distintos modos de propagación en función del número V. Se recuerda que la nomenclatura indicada como  $T_{m,n}$  representa: m el número de medias longitudes de onda a lo largo de la circunferencia y n el número a lo largo del diámetro. El número de modos de propagación se reduce a uno (N=1) cuando:

$$V = 2.405 \cdot \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right)^{1/2}$$

Para el caso del perfil de índice abrupto (el perfil gradual carece de sentido en la propagación de un solo modo) con  $\alpha$  tendiendo a  $\infty$ , se tiene que  $V=2.405$ .

El valor de  $\alpha$  a partir de la cual la fibra óptica se comporta como **monomodo** se denomina **longitud de onda de corte** ( $\lambda_{cutoff}$ ) y la UIT-T la define como aquella a donde la relación entre la potencia total y potencia del modo fundamental  $LP_{11}$  es de 0.1 dB. La fibra óptica monomodo se calcula para una longitud de onda de corte (longitud de onda para la cual  $V= 2.405$ ; es decir el modo de segundo orden deja de propagarse) entre 1.18 a 1.27  $\mu\text{m}$ . Esto resulta en un diámetro del núcleo cercano a 9  $\mu\text{m}$ .

La NA no se define para fibras monomodo, tampoco se define el radio del núcleo. En cambio, se utiliza el denominado diámetro del campo monomodal. Este diámetro se define en base al campo emitido desde el extremo de la FO y es el ancho cuando la potencia emitida se reduce a  $e^{-2}$  (aproximadamente 0.13) del valor máximo

considerando la emisión gaussiana del extremo de la fibra óptica. Formalmente se define el **diámetro del campo monomodal** como la inversa del ancho cuadrático medio de la distribución del campo de emisión lejano de la fibra óptica (UIT-T **G.652**). Normalmente el diámetro del campo modal está determinado por el diámetro del núcleo y es un 15% mayor a éste.

**Dispersión cromática.** Si la dispersión modal en la FO monomodo se anula el ancho de banda será infinito, lo cual no ocurre debido a que existe la dispersión cromática o intramodal que es de magnitud inferior a la dispersión modal y por ello permanece enmascarada en las fibras ópticas multimodo y ahora adquiere importancia. La dispersión cromática es la suma de la dispersión del material y de la dispersión de guía de ondas.

**Dispersión del material.** La dispersión del material se debe a que el índice de refracción del material es función de la longitud de onda. Por comodidad se suele definir el índice de grupo  $n_g$ :

$$n_g = \frac{c}{v_g} = n - \left( \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda} \right)$$

donde  $v_g$  es la velocidad de propagación de grupo. Obsérvese que el tiempo de propagación de las distintas longitudes de onda es distinto. Luego, existe una dispersión a la salida del modo de propagación debido a que las longitudes de onda que lo componen tienen velocidades diferentes.

Se define como dispersión del material a la variación diferencial del índice de refracción:

$$M(\lambda) = \left( \frac{-1}{c} \right) \cdot \frac{dn_g}{d\lambda} = \left( \frac{\lambda}{c} \right) \cdot \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$

Se observa que cuando  $n$  disminuye la velocidad aumenta y el tiempo de propagación es menor. Existe un valor de longitud de onda cercana a 1,3  $\mu\text{m}$  donde la dispersión del material es nula. En otras palabras, cerca de 1,3  $\mu\text{m}$  los tiempos de propagación de las distintas longitudes de onda tienden a ser iguales.

El valor de  $M(\lambda)$  puede aproximarse por:

$$M(\lambda) = (C_1 \cdot \lambda - C_2 \cdot \lambda^{-3}) \cdot 10^{-3} \text{ ns/nm}\cdot\text{Km}$$

El valor de  $\lambda$  para el cual  $M(\lambda)=0$  se denomina **longitud de onda de dispersión cromática nula** y depende del material. El valor aumenta con el incremento de la concentración de  $\text{GeO}_2$  y disminuye con el incremento de  $\text{B}_2\text{O}_3$ . El ancho de banda resultante será función inversa de  $M(\lambda)$  y se expresa como:

$$AB = \frac{0.44 \cdot 10^6}{\Delta\lambda \cdot M(\lambda)}$$

Donde el valor 0.44 surge de la conversión de FWHM a RMS,  $\Delta\lambda$  en nm es el ancho espectral de la fuente definida como la diferencia entre las longitudes de onda donde la potencia óptica emitida es la mitad (FWHM). Obsérvese que el ancho de banda se reduce cuando la fuente de luz tiene un ancho espectral grande, por lo que se buscará reducir dicho valor mediante el uso de emisores Láser.

**Dispersión de guía de ondas.** La dispersión de guía de ondas se debe a imperfecciones en la relación entre el radio del núcleo  $r_a$  y la longitud de onda de la luz que se transmite. Como consecuencia de ello la distribución del campo y el tiempo de propagación son dependientes de  $r_a/\lambda$ . En general, esta dispersión se presenta en común con la dispersión del material y resultan inseparables.

Para alguien familiarizado a los sistemas radioeléctricos, el efecto de la dispersión cromática puede ser interpretado como el retardo de grupo. En ambos casos las distintas componentes espectrales tienen velocidad de propagación diferente y se produce una distorsión. Sin embargo, el efecto en ambos sistemas es diverso debido a que la modulación de la señal en el sistema radioeléctrico es coherente y en los sistemas ópticos es una modulación de potencia (simple variación de la potencia óptica en dos niveles).

### 2.2.3. Estándares

Los esfuerzos de estandarización iniciados en la década de los años 70 dieron sus frutos en las recomendaciones UIT-T (antes CCITT). En un principio (período 1977-1980) la G.651 normalizó las fibras ópticas multimodo de 50/125 $\mu$ m; luego (período 1981-1984) la G.652 normalizó la fibra óptica monomodo y la G.956 los sistemas de línea. Las FO monomodo para tercera ventana se encuentran normalizadas en G.653/654/655.

En la Tabla I se muestran las características de las FO definidas por la UIT-T en la serie G.65x.

Tabla I. Características principales de Fibras Ópticas normalizadas.

<b>EIA-492; ISO/IEC 793. FIBRA MULTIMODO 62,5/125.</b>	
Apertura numérica	NA de 0.275 (tolerancia 0.015)
Perfil de índice de refracción	Parabólico (graded index). Usado en redes de datos y FDDI.
Índice de refracción	1.90%
Diámetro del núcleo	62.5 $\mu$ m (tolerancia 3 $\mu$ m)
Diámetro del revestimiento (Cladding)	125 $\mu$ m (tolerancia 1 $\mu$ m)
Recubrimiento de silicona Coating	245 $\mu$ m (tolerancia 10 $\mu$ m)
Longitud de onda de aplicación	850 y 1300 nm
Atenuación a 850 nm	Entre 3 y 3.2 dB/km
Atenuación a 1300 nm	Entre 0.7 y 0.8 dB/km
Ancho de banda a 850 nm	Entre 200 y 300 MHz.km
Ancho de banda a 1300 nm	Entre 400 y 600 MHz.km
<b>ITU-T (CCITT) G.651. FIBRA MULTIMODO 50/125.</b>	
Apertura numérica	NA=0.18 a 0.24 (tolerancia 10%)
Perfil del índice de refracción	Parabólico
Diámetro del núcleo	50 $\mu$ m (tolerancia 3 $\mu$ m) y del revestimiento 125 $\mu$ m (3 $\mu$ m)
Recubrimiento de silicona Coating	245 $\mu$ m (tolerancia 10 $\mu$ m)
Error de concentricidad	6%
Error de circularidad del núcleo	6%
Error de circularidad del revestimiento	2%
Atenuación a 850 nm	Entre 2.7 y 3 dB/km
Atenuación a 1300 nm	Entre 0.7 y 0.8 2 dB/km
Ancho de banda a 850 nm	Entre 300 y 500 MHz
Ancho de banda a 1300 nm	Entre 500 y 1000 MHz

<b>ITU-T G.652. FIBRA MONOMODO STANDARD.</b>	
Longitud onda corte	1.18 a 1.27 $\mu\text{m}$
Diámetro del campo modal	9.3 (8 a 10) $\mu\text{m}$ (tolerancia 10%)
Diámetro del revestimiento	125 $\mu\text{m}$ (tolerancia 3 $\mu\text{m}$ )
Recubrimiento de silicona Coating	245 $\mu\text{m}$ (tolerancia 10 $\mu\text{m}$ ). Acrilato curado con UV.
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 $\mu\text{m}$
Atenuación	de 0.4 a 1 dB/km en 1300 nm
Atenuación	de 0.25 a 0.5 dB/km en 1550 nm
Dispersión cromática 1285-1330 nm	3.5 ps/km.nm
Dispersión cromática 1270-1340 nm	6 ps/km.nm
Dispersión cromática en 1550 nm	20 ps/km.nm
<b>ITU-T G.653. FIBRA SM DISPERSION SHIFT.</b>	
Diámetro del campo modal	8 (7 a 8.3) $\mu\text{m}$ (tolerancia 10%)
Diámetro del revestimiento	125 $\mu\text{m}$ (tolerancia 3 $\mu\text{m}$ )
Recubrimiento de silicona Coating	245 $\mu\text{m}$ (tolerancia 10 $\mu\text{m}$ )
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 $\mu\text{m}$
Atenuación	inferior a 0.25 a 0.5 dB/Km en 1550 nm
Atenuación	inferior a 1 dB/Km en 1300 nm
Dispersión cromática	3.5 ps/km.nm entre 1525-1575 nm
<b>ITU-T G.654. FIBRA SM DE MINIMA ATENUACION</b>	
Diámetro del revestimiento	125 $\mu\text{m}$ (tolerancia 3 $\mu\text{m}$ )
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 $\mu\text{m}$
Recubrimiento de silicona Coating	245 $\mu\text{m}$ (tolerancia 10 $\mu\text{m}$ )
Atenuación inferior a	0.15 a 0.25 dB/Km a 1550 nm
Dispersión cromática	20 ps/km.nm en 1550 nm
<b>ITU-T G.655. SM NON ZERO DISPERSION SHIFT.</b>	
Diámetro del campo modal	8.4 $\mu\text{m}$ (tolerancia 0.6 $\mu\text{m}$ ). Diámetro núcleo 6 $\mu\text{m}$ .
Diámetro del revestimiento	125 $\mu\text{m}$ (tolerancia 1 $\mu\text{m}$ )
Longitud de onda de corte	1260 nm
Atenuación	Desde 0.22 a 0.30 dB/Km en 1550 nm
Dispersión cromática	4.6 ps/km.nm en 1550 nm
Zona de dispersión no-nula	Desde 1540 a 1560 nm

### 2.2.4. Tipos de fibra óptica

En la Tabla II se identifican distintos tipos de fibra óptica con su aplicación. Se trata de las FO de plástico; las multimodo para redes de datos; las monomodo para redes de alta velocidad y las FO para aplicaciones especiales.

Tabla II. Tipos de Fibras Ópticas en el mercado internacional.

Denominación	Características
FO Plástica	Trabajan a longitud de onda visible (650 nm). Se utilizan en aplicaciones de automotores, audio, MIDI, etc. Se dispone de los siguientes tipos dimensionales y atenuaciones: 485/500 $\mu\text{m}$ con 240 dB/km; 735/750 $\mu\text{m}$ con 230 dB/km y 980/1000 $\mu\text{m}$ con 220 dB/km
PCS	(Plastic Clad Silica) El núcleo es de silicio y las dimensiones son 200/300 $\mu\text{m}$ . La atenuación es de 10 dB/km a 850 nm.
FO 62,5/125 $\mu\text{m}$	Es una FO multimodo MM (MultiMode) con perfil de índice de refracción gradual (Graded Index). Este tipo de FO es una normalización norteamericana ANSI. Es usada en redes de datos de alta velocidad del tipo FDDI, para conexiones dúplex en anillos. Se suele conectorizar mediante terminales ST, SC o FDDI.
FO 50/125 $\mu\text{m}$	Esta FO multimodo MM con perfil de índice parabólico es normalizada por ITU-T G.651. Usadas en la actualidad en redes de datos de corta longitud (hasta 2 km). Fue la única FO disponible hasta inicios de los años 80. Se usaba en 850 o 1300 nm.
FO STD	Es del tipo monomodo SM (SingleMode) normalizada en ITU-T G.652. Se trata de la FO más popular en redes de telecomunicaciones actuales. Es factible de usarse en 1300 y 1550 nm. Debido a la dispersión cromática esta FO está optimizada para el cero de dispersión en 1300 nm.
FO DS	Esta FO monomodo de dispersión desplazada DS (Dispersion Shift) se encuentra en ITU-T G.653. Permite gran ancho de banda en redes de larga distancia trabajando en tercera ventana. Esta FO, de acuerdo con la Fig 02 tiene el cero de dispersión cromática en 1540 nm. La dispersión tiene un valor de $-2$ a $+2$ ps/km.nm; la FO STD lo tiene entre $+16$ a $+18$ ps/km.nm.
FO Minimum Loss	Es del tipo monomodo con mínima atenuación. Es normalizada en ITU-T G.654. Se aplica para enlaces de muy larga distancia en 1550 nm. Es de aplicación limitada debido a la reducida performance en cuanto a la dispersión cromática. Normalmente no es aplicable para sistemas STM-16 a 2,5 Gb/s.

Denominación	Características
FO NZ-DS	(Non Zero-Dispersion Shift) determinada en ITU-T G.655. Es normalizada en 1994 para 1550 nm. Mejora a la G.653 para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM. La mejora en la intermodulación pasa de ser 25 dB para la G.653 a más de 50 dB en la G.655. La intermodulación es producida por alinealidades de la FO en altas potencias (por ejemplo en amplificadores EDFA) cuando se inyectan varias longitudes de ondas de tipo WDM. El perfil del índice de refracción de una FO NZ-DS se muestra en la Fig 02. El cero de dispersión cromática se encuentra en 1525 nm para las FO producidas por Lucent y en 1560 nm para las producidas por Corning. La dispersión se encuentra entre 2,6 y 6 ps/km.nm entre 1530 y 1560 nm.
FO PDC	(Passive Dispersion Compensator) Permiten la compensación de la dispersión cromática G.652. Posee un núcleo muy estrecho (2 $\mu\text{m}$ ) y un salto de índice de refracción muy alto. La atenuación se incrementa, por lo que se realiza una reducción paulatina entre el núcleo de la FO normal y la de compensación de dispersión. Se utilizan algunos metros de FO de compensación por varios km de FO standard G.652. La dispersión negativa es del orden de $-100$ ps/km.nm a 1550 nm. Por ejemplo, en el mercado se encuentran módulos de compensación para 40 y 80 km de FO. El retardo disminuye con la longitud de onda (1700 ps a 1556 nm y 1000 ps a 1557 nm). El centro de la banda 1556-1557 puede correrse para otras longitud de ondas necesarias.
FO Erbio Doped	La FO utilizada en amplificadores ópticos EDFA consisten en un tramo de una decena de metros de FO dopada con Tierras Raras. En 1984 se adoptó el ion trivalente de Erbio $\text{Er}^{3+}$ para realizar estas FO activas. El Erbio en la FO tiene la propiedad de absorber energía a una longitud de onda y emitir energía en forma de emisión estimulada coherente con la señal de entrada (normalmente a 1550 nm).
FO PM	(Polarization Maintaining) Este tipo de FO-SM permite transmitir una luz polarizada con una relación de 30 dB entre los ejes ortogonales. Se logra mediante un núcleo no simétrico en ambos ejes (un cladding interno oval o dos núcleos adicionales sobre un mismo eje). Se utiliza en óptica integrada, giróscopos ópticos, sensores y sistemas coherentes. Una FO puede actuar como polarizador debido a que cada eje tiene una longitud de onda de corte distinta; de forma tal que entre ambas longitudes de onda una polaridad se atenúa y la otra no. Este efecto se encuentra en un rango de 30 a 40 nm y permite formar polarizadores.

### 2.3. Redes

Una red (en general) es un conjunto de dispositivos (de red) interconectados físicamente (ya sea vía alámbrica o vía inalámbrica) que comparten recursos y que se comunican entre sí a través de reglas (protocolos) de comunicación.

Dispositivos de red

- Estación de trabajo (Workstation)
- Un servidor (server)
- Impresora (printer)
- Concentrador (Hub)
- Conmutador de paquetes (Switch)
- Enrutador (router)
- Punto de acceso (access point)
- Multiplexores
- Modems
- Equipos tributarios
- Estaciones terrenas vía satélite
- Conmutadores telefónicos
- etc, etc.

Una red debe cumplir con lo siguiente:

- Un medio de comunicación donde transfiera información
- Un recurso que compartir
- Un lenguaje o reglas para comunicarse

## TIPOS DE REDES

Las redes pueden clasificarse con respecto a la información que es transferida de la siguiente manera:

### Redes de DATOS

Compañías proveedoras de servicios corporativos IP, TDM, MPLS, compañías celulares de datos (SMS), proveedores de Internet, Voz paquetizada (VoIP)

### Redes de VIDEO

Compañías de cableTV, Estaciones televisoras

### Redes de VOZ

Compañías telefónicas, compañías celulares

### Redes de AUDIO

Redes privadas digitales para audioconferencias, audio por Internet, Música por satélite

### Redes de MULTIMEDIOS

Compañías que explotan voz, datos, video simultáneamente

También existen redes de microondas, redes vía satélite, redes de fibra óptica, redes públicas, redes privadas, redes de telecomunicaciones que usan las líneas eléctricas, etc.

## PARÁMETROS QUE DEFINEN UNA RED

Topología: arreglo físico en el cual el dispositivo de red se conecta al medio.

Medio físico: cable, fibra óptica o frecuencia del espectro electromagnético utilizados para interconectar los dispositivos a la red.

Protocolo de acceso al medio: Reglas que determinan como los dispositivos se identifican entre sí y como accesan al medio de comunicación para enviar y recibir la información.

## 2.4. Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos

### 2.4.1. Descripción general

Este modelo es iniciado por la IBM para redes de computadoras en 1974, con versión definitiva en 1985. En IBM se denomina SNA (*Systems Network Architecture*). Este modelo es perfeccionado por la Organización Internacional de Normalizaciones ISO en el estándar ISO 3309. El modelo ISO se adopta en 1984. Se denomina Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos OSI con 7 capas. En UIT-T X.200 se adopta el modelo *ISO/IEC 7498-1* para sistemas de comunicaciones.

La finalidad del modelo ISO es permitir la cooperación entre sistemas abiertos. Un sistema real abierto es aquel conjunto de ordenadores, material lógico, periféricos, terminales, operadores humanos, etc, que forma un todo autónomo capaz de procesar y/o transferir información. Cada sistema abierto se considera constituido por un conjunto de 7 capas o estratos representados en forma vertical.

El modelo prevé una comunicación vertical entre capas (capa N+1 con N y N con N-1) denominado SERVICIO y una comunicación horizontal (capa N con N) entre distintos sistemas abiertos denominado PROTOCOLO (protocolo entre entidades pares o iguales *peer-to-peer*). Cada capa N ofrece un servicio a la capa inmediatamente superior N+1 y requiere los servicios de la inferior N-1. Para la comunicación se define los puntos de conexión SAP (*Service Access Point*) que funcionan como direcciones de la capa superior; una entidad puede tener activas varias direcciones SAP simultáneamente.

Las distintas capas verticales requieren y ofrecen un servicio:

- Cada capa genérica N recibe una unidad de servicio **SDU** desde la capa N+1;
- Agrega una información adicional denominado protocolo de control **PCI** y
- Forma la unidad de datos **PDU** que corresponde al SDU de la capa N-1.

El término **PDU** (*Protocol Data Unit*) es usado por ISO para todas las capas e incluye a SDU y el encabezado PCI. Para cada capa se antepone la inicial a la sigla que la identifica y el nombre más usual:

- **APDU**, **PPDU**, **SPDU**: para las capas 7, 6 y 5 respectivamente.
- **TPDU** (capa 4: segmento en TCP y mensaje en SMTP y SS7).

- **NPDU** (capa 3: paquete en X.25 y datagrama en IP).
- **DPDU** (capa 2: tramas en LAN y FR, celda en ATM y MAN y paquete en X.25).
- **PhPDU** (capa 1: trama y envoltura).

La dirección que identifica la capa se indica como **SAP**; de esta forma da lugar a las direcciones NSAP, DSAP y PhSAP. La comunicación entre capas determina 4 **servicios primitivos**:

- **Pedido** desde N a N-1 (requerimiento de servicio);
- **Indicación** desde N-1 a N (notificación de requerimiento);
- **Respuesta** desde N a N-1 (reconocimiento de indicación);
- **Confirmación** desde N-1 a N (pedido completado).

#### 2.4.2. Capas Asociadas

**CAPA 7. CAPA DE APLICACIÓN.** (RFC Internet, ISO y ITU-T X.400/500/700) Las funciones que realiza la capa de aplicación difieren de los ofrecidos por las otras capas, debido al hecho que, como no existe una capa superior, no ofrece servicios. Ejemplos de protocolos de capa 7 son el Terminal virtual y transferencia de archivos (file). Se pueden identificar las siguientes funciones:

- Identificación del correspondiente mediante la dirección.
- Determinación de la disponibilidad y establecimiento de la autorización.
- Determinación de la metodología de costos de la comunicación.
- Determinación de la calidad de servicio (errores y costo).
- Selección de disciplina de diálogo y limitaciones de sintaxis.

**CAPA 6. CAPA DE PRESENTACIÓN.** (ISO 8822/8823/8824)

Esta capa permite la presentación de la información que las entidades de aplicación comunican o mencionan en su comunicación. Se ocupa de la **sintaxis** (reglas gramaticales para representación de los datos; secuencia y ortografía de los comandos) y

no de la **semántica** (función que cumple cada parte del mensaje; significado para la capa 7). Ejemplos de protocolos de capa 6 son la compresión de texto, criptografía, reformato y terminal virtual. Los protocolos UNIX (TCP/IP) no poseen capa 5 y 6. Las funciones de esta capa son:

- Transformación y selección de la sintaxis para la capa 7.
- Transferencia de datos.
- Negociación y renegociación de la sintaxis.
- Establecimiento del formato de datos (compresión de código).

#### **CAPA 5. CAPA DE SESIÓN. (ISO 8326/8327)**

Los servicios que presta esta capa tienen por objeto proporcionar los medios para que la capa 6 organice y sincronice el intercambio de datos. Las funciones son:

- Establecimiento y liberación de la conexión de sesión.
- Intercambio de datos normal o acelerado.
- Sincronización de la conexión. Innecesario en los protocolos TCP/IP de capa 4/3.

#### **CAPA 4. CAPA DE TRANSPORTE. (ISO 8072/8073 y RFC-1778)**

Esta capa optimiza el uso del servicio de la red disponible para ofrecer la calidad de funcionamiento que requiere la capa 5, a un mínimo costo. Son ejemplos TCP, SPX (NetWare). Las funciones son:

- Direccionamiento de la transmisión de datos mediante el concepto de port.
- Multiplexación y división de conexiones (optimiza los costos).
- Detección de errores y comprobación de calidad de servicio. Eventualmente provee la retransmisión.
- Segmentación y concatenación de extremo a extremo.

#### **CAPA 3. CAPA DE RED. (ISO 8348 y RFC-1777)**

Asegura la independencia de la capa 4 respecto del encaminamiento en la conexión de red. Son ejemplo el protocolo IP (MIL o ISO) y IPX (Netware). Las funciones son:

- Direccionamiento y conexionado en la red de datos.
- Es responsable del ensamble de datos en el servicio sin-conexión.
- Obtención de los parámetros de calidad del servicio y notificación de errores.

- Reiniciación, liberación y acuse de recibo de los datos.

**CAPA 2. CAPA DE ENLACE DE DATOS.** Referido al modelo **HDLC** (*High Data Link Control*) en ISO.

Esta capa proporciona los medios para establecer, mantener y liberar las conexiones entre los niveles 3 de cada extremo. Las funciones que se pueden identificar son:

- Conexión de enlace de datos con sincronismo de trama.
- Identificar los puntos extremos y control del flujo de datos.
- Notificar errores y los parámetros de calidad del servicio.

**CAPA 1. CAPA FÍSICA.** Por ejemplo EIA RS-232/422; V.24/V.28/X.21; V.11; G.703

En esta capa se proporcionan los vínculos necesarios para la conexión al medio de enlace. Las funciones son:

- Conexión física al medio de transmisión.
- Definición de las características mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimiento.
- Identificación del enlace de datos y notificación de condiciones de falla.

## 2.5. Introducción a los sistemas de transmisión sincrónica

La sincronía en las redes ha tenido una creciente importancia en las telecomunicaciones en los últimos 30 años, especialmente desde que la transmisión y conmutación se han vuelto digitales. De hecho, la calidad de muchos de los servicios que los operadores de red ofrecen a sus clientes se ve afectada por el desempeño de la sincronía en la red.

El equipo de conmutación digital requiere la sincronía para evitar deslizamientos. Las conversaciones telefónicas comunes no se ven afectadas por los deslizamientos de sincronismo, pero los servicios digitales de datos se ven afectados significativamente. El desarrollo de redes conmutadas de datos y el ISDN han elevado la necesidad de requerimientos más estrictos en cuanto a sincronía.

La sincronía se ha tornado un elemento crucial para los operadores de telecomunicaciones con el desarrollo de redes SDH / SONET; cuyos requerimientos de estabilidad de los sistemas sincrónicos son bastante complejos y exigentes.

Recientemente también se ha reconocido que la importancia de la sincronía va más allá de SDH/SONET. Sistemas ATM y redes de telefonía móvil celular como GSM, GPRS, UMTS son ejemplos claros en los que la disponibilidad de referencias de sincronismo de la red puede afectar la calidad del servicio.

El objetivo para un apropiado funcionamiento de una red sincrónica es el de alinear las escalas de tiempo y frecuencia de todos los relojes dentro de la misma; utilizando las capacidades de los enlaces de comunicaciones que posee.

Los elementos básicos de una red de sincronismo son los nodos (relojes autónomos y esclavos) y los enlaces de comunicaciones que los interconectan. Se deben sobrellevar dos cuestiones básicas: como transportar el tiempo desde un nodo hacia el otro y como organizar la distribución de tiempos a través de todos los nodos de la red (estrategia de sincronismo).

## 2.6. Jerarquía digital síncrona (SDH)

### 2.6.1. Aspectos generales

El origen de la jerarquía digital síncrona se remonta a 1987, con la normalización por ANSI, en Estados Unidos, de la synchronous optical network (SONET). En ese mismo año se definen los niveles jerárquicos STS-N (synchronous transport signal level N).

En 1989, se normaliza por la ITU-T (antes CCITT) la synchronous digital hierarchy (SDH) o jerarquía digital síncrona. Se definen los niveles jerárquicos STM-N (synchronous transport module level N).

La jerarquía digital síncrona (SDH por sus siglas en inglés) y las redes ópticas sincronas (SONET por sus siglas en inglés) se refieren a un grupo de sistemas de transmisión por fibra óptica que pueden trasladar señales digitales con diferentes capacidades.

Desde su aparición alrededor de 1990, SDH y su variante SONET, han ayudado a revolucionar el desempeño y costo de las redes de telecomunicaciones basadas en fibra óptica.

El nuevo estándar apareció primeramente como SONET, preparado por Bellcore en los Estados Unidos y luego, pasando por revisiones previas, emergió como una nueva forma compatible con los estándares internacionales conocido como SDH.

El estándar SDH original definió el transporte de 1.5/2//6/34/45/140 Mbps dentro de una tasa de transmisión de 155.52 Mbps. Actualmente puede soportar otros tipos de tráfico como ATM (asynchronous transfer mode) e IP (Internet protocol). Utilizando un apropiado conjunto de opciones, algunas capacidades de SDH son compatibles con SONET, por lo que se hace posible la interoperabilidad de tráfico (interconexión de sistemas). Lo que se hace complicado para la mayoría de sistemas es la interoperabilidad de Alarmas y manejo de desempeño entre redes SDH y SONET, por lo que al realizarse interconexiones de sistemas de normas distintas se dejan las tareas de monitoreo a cada plataforma por separado.

SDH define interfaces que son independientes del fabricante. A 155 Mbps se definen interfaces ópticas y eléctricas, mientras que para capacidades mayores, se tienen únicamente ópticas. Estas capacidades están definidas como múltiplos enteros de 155.52 Mbps. En la actualidad, en Guatemala se tienen redes SDH operando a capacidades de hasta 10 Gbps (STM-64); en algunos países de Europa ya se tienen implementadas redes de hasta 40 Gbps (STM-256).

Cada interfaz cuenta con una sección de encabezados cuyo fin es tolerar un rango facilidades específicas y una sección de carga de capacidad del tráfico en sí. Cada sección (encabezados y tráfico) puede llenarse completa o parcialmente, dependiendo de las necesidades de transmisión y cantidad de tráfico existente en la red.

En la Tabla III se muestra un resumen de los niveles jerárquicos asociados a la transmisión SDH.

Tabla III. Niveles jerárquicos STM-N.

Señal de transporte síncrona STS-N	Módulo de transporte síncrono STM-N	Velocidad (Mbit/s)	Denominación abreviada
STS-1	STM-0	51,840	51 Mbit/s
STS-3	STM-1	155,520	155 Mbit/s
STS-12	STM-4	622,080	622 Mbit/s
STS-48	STM-16	2,488,320	2,5 Gbit/s
STS-192	STM-64	9,953,280	10 Gbit/s
STS-768	STM-256	39,813,120	40 Gbit/s

### *Características de la jerarquía digital síncrona*

- Estructuras de transporte síncronas, con multiplexación basada en octetos.
- Transporte de señales de las jerarquías plesiócronas de 1,5 y 2 Mbit/s.
- Transporte de señales con información de otras tecnologías (células ATM, datagramas IP, tramas Ethernet, etc.).
- Acceso a los tributarios sin necesidad de demultiplexar la trama síncrona.
- Mayor capacidad de gestión de las estructuras de transporte.
- Normalización de interfaces de línea (eléctricos y ópticos).
- Diferentes topologías de red: punto a punto, bus, anillo.
- Inclusión de mecanismos de protección por conmutación automática.
- Protección para recuperación de circuitos en tiempos del orden de milisegundos.
- Provisionamiento de ubicación de capacidades de acuerdo a criterios de rutas preferidas.
- Consolidación de tráfico desde portadoras parcialmente llenas, para obtener menor número de estas y así reducir el desperdicio de capacidad de tráfico.
- Separación de distintos tipos de tráfico desde capacidades mezcladas hacia destinos separados para cada tipo de tráfico (grooming).

Aunque la tecnología SDH fue concebida originalmente para redes de fibra óptica, debido a su flexibilidad, hoy en día se utiliza también en sistemas de radiocomunicaciones. Algunos de las categorías de equipos que se construyen en la actualidad para SDH son las siguientes:

- Sistemas de línea óptica
- Sistemas de radio-relay
- Multiplexores terminales
- Multiplexores add and drop (ADM)
- Multiplexores de concentración de tráfico (hub multiplexers)
- Switches digitales de cross conexión.

### 2.6.2. Estructura de multiplexación

#### *Conceptos generales de la estructura de multiplexación*

- La correspondencia consiste en acomodar las señales afluentes (PDH, ATM, IP, RAL o MAN) en los contenedores-n (**C-n**) apropiados, mediante un mecanismo de justificación.
- Un contenedor-n (C-n) al que se añade la tara de trayecto (información de gestión de la capa de trayecto) forma un contenedor virtual-n (VC-n).
- El alineamiento consiste en añadir a un contenedor virtual-n (VC-n) un puntero, que indica la ubicación del primer octeto del contenedor virtual-n en la unidad de mayor nivel, obteniendo:
  - una unidad tributaria-n (TU-n) puntero de TU-n + contenedor virtual de orden inferior.
  - una unidad administrativa-n (AU-n) puntero de AU-n + contenedor virtual de orden superior
- La multiplexación se basa en el entrelazado de octetos de los diferentes elementos a multiplexar:

- varias unidades tributarias-n (TU-n) para formar un grupo de unidades tributarias-n (TUG-n)
- varias unidades administrativas-n (AU-n) para formar un grupo de unidades administrativas-n (AUG-n)
- Una unidad administrativa-n (AU-n) a la que se añade la tara de sección (información de gestión de la capa de sección) forma un modulo de transporte síncrono de nivel N (STM-N)
- La concatenación es el procedimiento de asociación de varios contenedores virtuales, de modo que su capacidad combinada puede utilizarse como un único contenedor sencillo, en el que se mantiene la integridad de la secuencia de bits.

En las figuras 3 y 4 se describe la estructura de multiplexación SDH, tanto a nivel general (Fig. 3), como basándose en las normas UIT-T (Fig. 4).

Figura 3. Estructura de multiplexación SDH

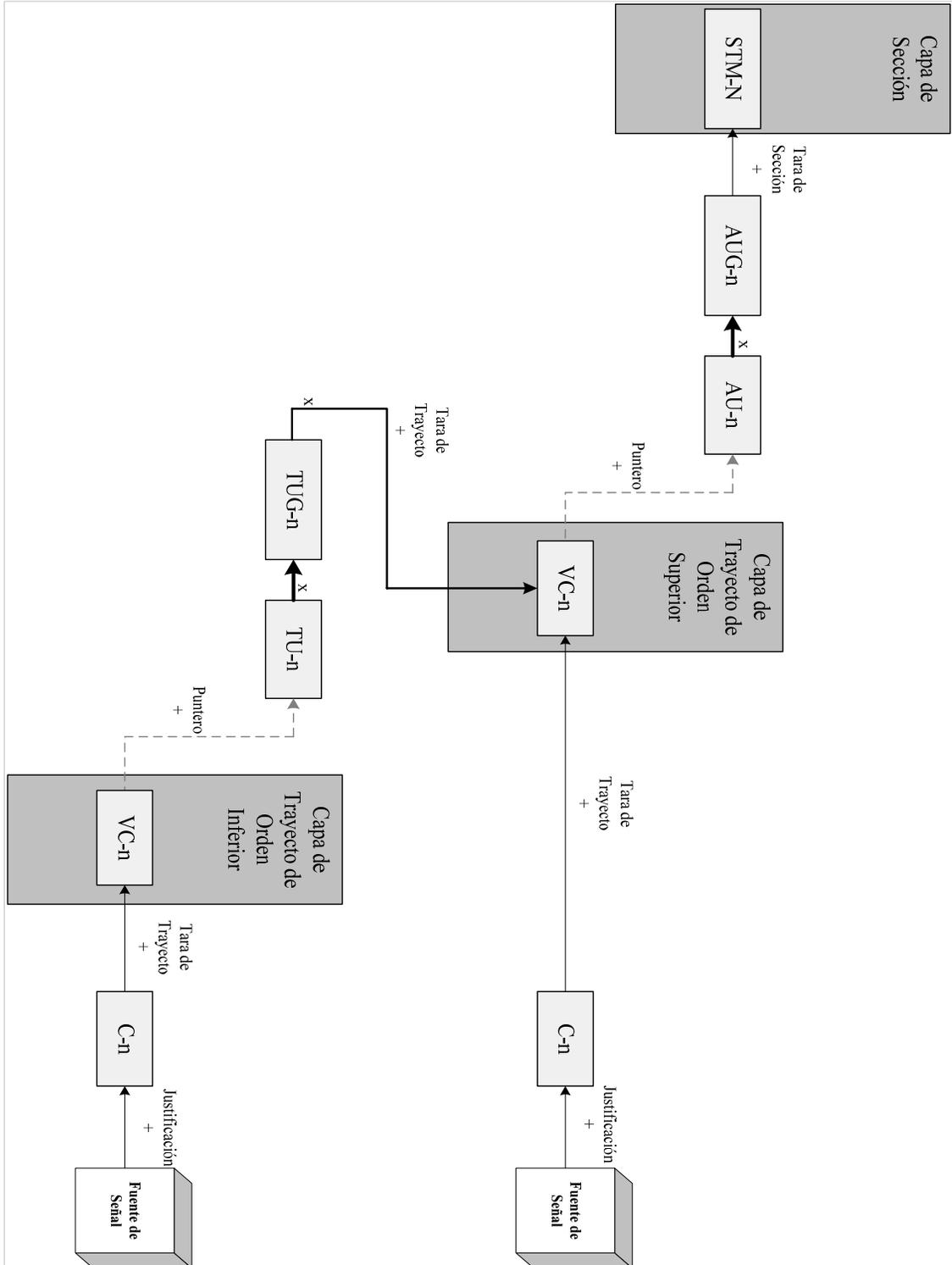
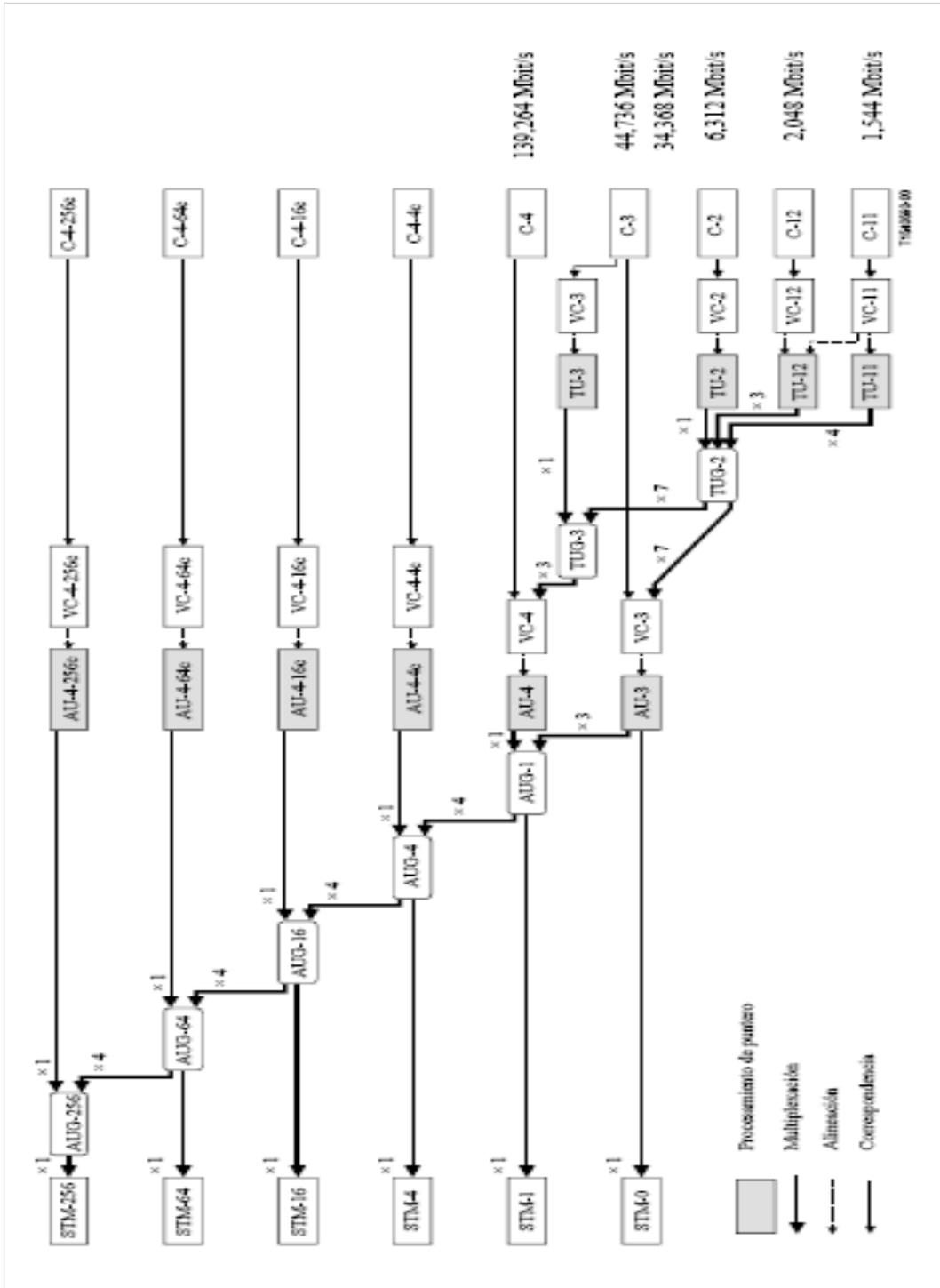


Figura 4. Estructura de multiplexación SDH, basada en las normas UIT-T



### 2.6.3. Tipos de crosconexión

**Cross-Conexiones:** Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi-permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual. Si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones.

Esta descripción podría sugerir que una cross-conexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi-permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semi-permanente según cambie el patrón del tráfico.

La función de cross-conexión no significa la necesidad de bloques de equipamiento independientes. La funcionalidad de cross-conexión SDH puede residir en casi cualquier elemento de red, siendo el más obvio el multiplexor add and drop.

Otros términos empleados en las funcionalidades de los elementos de red SDH son la consolidación y la agregación.

La consolidación se produce cuando tráfico en rutas parcialmente ocupadas puede ser reorganizado en un simple camino con mayor carga de densidad de tráfico.

El grooming se produce cuando el tráfico incidente, el cual es dirigido hacia diversos destinos es reorganizado. El tráfico para destinos específicos es reordenado en caminos junto con otro tráfico para ese destino. Por ejemplo, el tráfico de un tipo específico como el ATM o tráfico de datos con diferentes destinos puede ser separado del tráfico PSTN (Public Switching Telephone Network o red telefónica conmutada) y ser transportado por una ruta diferente.

### **Tipos de Conexiones:**

En un sistema SDH podemos establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- **Unidireccional** es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH , por ejemplo enviar tráfico únicamente.

- **Bidireccional** es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.

- **Extrae y continúa (Drop & Continue)** es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones puede ser usado para difusiones y mecanismos de protección.

- **Difusión (Broadcast)** es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de vídeo por ejemplo.

Las crosconexiones son clasificadas como DXC p/q, en donde p es el orden jerárquico de la tasa de bits del puerto y q es el orden jerárquico del componente del tráfico que es switchado dentro de aquella tasa de bits de puerto.

DXC puede ocurrir en dos tipos principales. Crossconexiones de alto orden son usadas generalmente para enrutar la masa de tráfico en bloques nominales de 155 Mbps para provisionamiento de red o restauración (incluyendo recuperación en caso de desastres). Dichas crossconexiones se designan como DXC 4/4. El primer “4” se refiere a los puertos de transmisión de 155 Mbps en la crossconexión y el segundo “4” indica que toda la tara dentro de los 155 Mbps está switchada como una sola entidad.

Las crossconexiones de bajo orden (DXC 4/1 ó 1/1, el “1” denotando que la tasa primaria está definida a 1.5 ó 2 Mbps) son utilizadas para switcheo en el tiempo de líneas dedicadas, consolidación y restauración de servicios. Estas switchean componentes de tráfico hacia debajo de su tasa primaria, usualmente teniendo la opción de conmutar alternativamente en las tasas intermedias de 34 ó 45 Mbps. Las

capacidades y aplicaciones de estas dos familias de crossconexiones pueden traslaparse, con algunos diseños capaces de soportar su operación en paralelo, por ejemplo en 4/4, 4/1 y 1/1.

Aquellos ADMs y multiplexores de concentración, que incluyen intercambio de time slots, también pueden ser utilizados como pequeños DCSs sin bloqueo. Un anillo de varios ADMs puede ser manejado como si sus crossconexiones estuvieran distribuidas pero típicamente se experimentará algún bloqueo, el cual debe ser anticipado en la planificación de red.

Algunos diseños de crossconexión permiten que todas las interfaces de tráfico se encuentren en formato PDH para compatibilidad con el equipamiento existente. En particular, estos diseños pueden permitir que el nivel jerárquico  $p$  en una crossconexión DXC  $p/q$  sea bien 34 o 140 Mbps en formato PDH como una alternativa a los 155 Mbps, para que haya disponibilidad de flexibilidad en la red donde aún no exista infraestructura SDH. En este tipo de crossconexiones, un puerto de 34 o 140 Mbps puede incluir un dispositivo de multiplexación PDH para conversión interna desde y hacia 2 Mbps, el cual provee una función de transmultiplexación entre las áreas PDH y SDH de la red.

Los equipos ADM, convencionalmente permiten que el tráfico esté en forma PDH, como 2 ó 34 Mbps en sus puertos tributarios y también pueden proveer la función de transmultiplexión. Los puertos asociados al tráfico en tránsito están en formato SDH.

#### 2.6.4. Parámetros ópticos

En el apartado 2.2 del presente trabajo se dio una amplia descripción de los tipos de fibra óptica existentes en el mercado y algunas de sus características principales. Dichas características están íntimamente ligadas a las características que han de tener las interfaces ópticas de la red SDH y sus equipos asociados.

#### **Parámetros de los terminales de línea**

*La potencia de emisión del transmisor.* Se denomina así a la potencia en dBm inyectada a la FO por el emisor de luz Led o Láser, medida luego del conector de salida del

equipo. Este punto es definido como **interfaz S** por UIT-T G.957. En los sistemas SDH se usa el Láser cuyos valores se encuentran entre +2 y -3 dBm para 1.3  $\mu\text{m}$  y entre 0 a -5 dBm para 1.55  $\mu\text{m}$ .

*Ancho espectral de la fuente.* Se denomina así al ancho del espectro de emisión RMS (-3 dB) para láser multimodo y a -20 dB respecto del valor máximo en el espectro de emisión de láser monomodo. Para el emisor Láser los valores se encuentran comprendidos entre 0.1 a 1 nm para 1.3 ó 1.55  $\mu\text{m}$ . Se disponen de emisores Láser multimodo (1 a 5 nm) y monomodo (0.1 a 1 nm).

*Objetivo de calidad.* El UIT-T G.821 indica para una conexión hipotética de referencia de 27,500 km que el canal de 64 kb/s debe tener una tasa de error BER inferior a  $10^{-6}$  durante el 90% del tiempo de disponibilidad, con un tiempo de integración de 1 minuto. Para enlaces entre repetidoras o entre transmisor y receptor que están en el orden de los 50 a 100 km, la BER será mejor a  $10^{-10}$ . Este umbral de BER será el objetivo de calidad deseado de BER. Las normas actuales de medición de performance son G.821/826 y M.2100. La norma G.826 permite la medición de performance con la información de paridad BIP inmersa en la trama STM-N.

*Potencia umbral del receptor.* Se denomina así al mínimo valor de potencia de ingreso al receptor, medida antes del conector de entrada (denominada **interfaz R** en UIT-T G.957), que asegura el objetivo de calidad BER=  $10^{-10}$ . El valor de potencia umbral depende del tipo de detector, la velocidad de transmisión y la longitud de onda. Se pueden indicar los valores típicos de Pth (dBm) de la Tabla IV.

Tabla IV. Sensibilidad del detector.

Mb/s	140	565	155	622	2488
Para 0,85 $\mu\text{m}$	-45				
para 1,3 $\mu\text{m}$	-35	-30	-38	-34	-27
para 1,55 $\mu\text{m}$				-36	-28

Para la jerarquía sincrónica SDH se usa detector del tipo fotodiodo avalancha APD de Ge en 1.3  $\mu\text{m}$  y de InGaAs en 1.55  $\mu\text{m}$ . La velocidad de transmisión de 2.5 Gb/s fue el

"estado del arte" a la mitad de la década de los '90. En la actualidad se trabaja con sistemas de 10 Gb/s (STM-64) y en algunos casos con sistemas de 40 Gb/s.

*Incremento de la ganancia.* La aplicación de amplificadores con FO dopadas con Erbio  $\text{Er}^{+3}$  permite una ganancia adicional (cerca de 15 dB) usados como amplificadores de potencia en transmisión o de entrada en recepción. Los sistemas heterodinos modulados en PSK requieren de -50 dBm como potencia de recepción para una velocidad de 2.5 Gb/s. Ambas posibilidades son, desde un punto de vista de balance de potencia, equivalentes; pero solo los amplificadores se encuentran ya disponibles comercialmente.

*Ancho de banda necesario.* Es la banda ocupada por el sistema a transmitir y para los sistemas digitales corresponde a:

$$AB_n = \left( \frac{V_{tx}}{2} \right) \cdot \left( \frac{m}{n} \right) \cdot (1 + \beta)$$

con  $V_{tx}$  la velocidad de transmisión de Mb/s,  $m/n$  el incremento de velocidad debido al código de transmisión (si es usado) y  $\beta$  el coeficiente roll off del filtrado coseno realzado. El  $AB_n$  resulta en MHz. En los sistemas SDH el código es NRZ ( $m/n=1$ ) con aleatorización  $27^{-1}$  y el coeficiente puede adoptarse en el caso más desfavorable ( $\beta=1$ ).

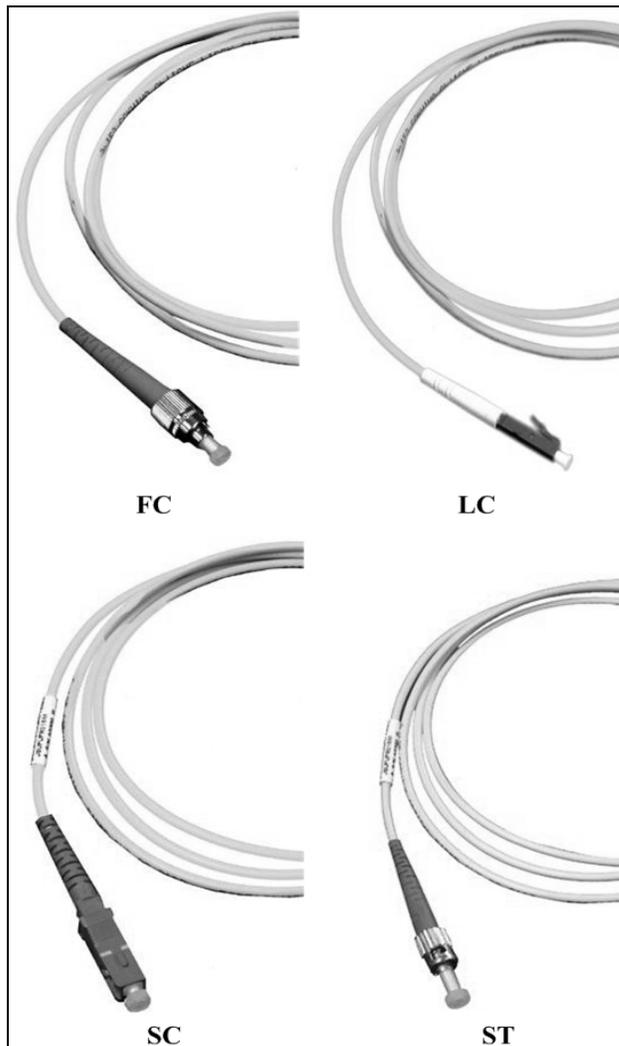
*Penalizaciones.* La potencia umbral se mide para ruido cuántico y térmico, considerando nula la interferencia intersímbolo y la fluctuación de fase. La ISI es producida por la reducción del ancho de banda de la FO; cuando se acerca al ancho de banda necesario  $AB_n$  se produce una ISI que incrementa la BER. Se define así una penalidad de potencia por ISI (Pisi) que se encuentra en valores inferiores a 1 dB para ABL mayores a  $AB_n$ . Una penalidad adicional se puede considerar por fluctuación de fase (jitter), dispersión, reflexión en los conectores ópticos, variación de la temperatura. Dicha penalidad se encuentra entre 2 y 4 dB.

*Código de línea.* No existe uniformidad en la elección del código de línea. Algunas veces se han usado los códigos del tipo mBnB (típicamente 1B2B o 5B6B) en sistemas PDH; siendo el NRZ el usado para sistemas SDH. En cambio el uso de la aleatorización ( $27^{-1}$ ) de la señal es generalizado debido a que facilita la recuperación del reloj. En los

sistemas SDH la UIT-T prevé la aleatorización de la trama STM-1 y el conjunto de trama STM-4 o STM-16.

*Conector de salida.* La salida del equipo generalmente se realiza mediante un conector desmontable que une al emisor (mediante un pig tail) con el cable monofibra al distribuidor de fibras ópticas. La atenuación del conector se puede considerar inferior a 0.3 dB. Los tipos más comunes de conectores son FC, SC, ST, LC, los cuales están ejemplificados gráficamente en la Figura 5.

Figura 5. Tipos de conectores utilizados en Fibra Óptica.

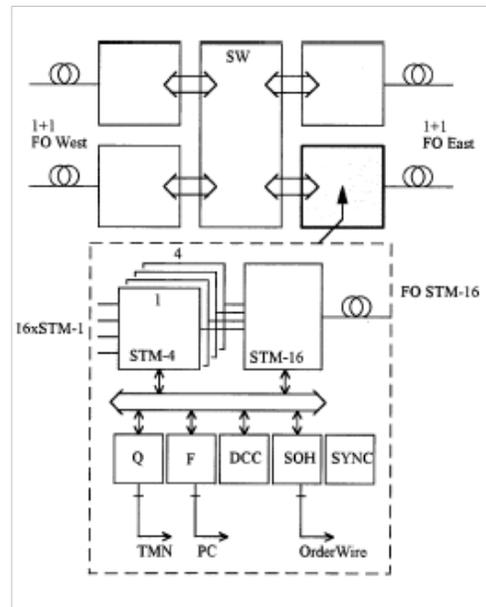


*Margen del equipo.* Para tener en cuenta las degradaciones sobre el equipo transreceptor se considera un margen de equipo. Este valor se suma al considerado para el cable. El valor apropiado de margen  $M_e$  se encuentra entre 1 y 2 dB.

### **Parámetros del sistema**

*Acceso a la tara de sección SOH.* El terminal de línea permite el acceso a los Bytes de la SOH en la red SDH. Los Bytes  $A_1$  y  $A_2$  permiten el alineamiento de la trama STM-1. El byte  $C_1$  identifica al STM-1 dentro del STM-N. Los bytes  $B_1$  y  $B_2$  permiten la verificación de paridad (detección de errores). Los bytes  $E_1$  y  $E_2$  permiten el acceso a canales de servicio orderwire. El byte  $F_1$  es un canal para el operador de la red. Los bytes  $D_1...D_{12}$  permiten la gestión del sistema (interfaz F y Q). El byte  $S_1$  lleva información de sincronismo. Los  $K_1$ ,  $K_2$  y  $M_1$  llevan información de alarmas remotas. En la Figura 6 se muestra un diagrama del terminal de línea simplificado para STM-16.

Figura 6. Diagrama de bloques de un equipo SDH con interfaz óptica.



*Conmutación de protección.* El enlace puede contener un sistema de conmutación que incrementará la disponibilidad del sistema completo. En los sistemas SDH una protección adicional se logra mediante el uso de los equipos Cross-Connect o Add-Drop mediante el direccionamiento por caminos alternativos dentro de una estructura en anillo. Los criterios de conmutación tienen 3 grados de prioridad:

- conmutación forzada mediante el terminal de operaciones;
- falta de señal, recepción de AIS o  $BER > 10^{-3}$ ;
- señal degradada  $BER > 10^{-6}$ .

El canal de comunicación para el sistema de conmutación automática de varios canales M+N se obtiene de la tara de sección SOH del STM-1. Se trata de los Bytes  $K_1$  y  $K_2$ . Debe tenerse en cuenta que debido a los altos valores de MTBF (tiempo medio entre fallas) de los equipos y a que el MTTR (tiempo medio de reparación) del cable es muy superior al de los regeneradores (parte electrónica), puede ser útil adoptar solo un sistema 1+0 sin protección dentro de una red en anillo.

*Canal de servicio Orderwire.* El sistema incluirá canales de servicio a frecuencia vocal para el mantenimiento y reparación. Esta información está contenida en la trama digital (tal el caso de STM-1 en la SDH). El Bytes E1 de la SOH permite un canal de servicio de hablar tipo ómnibus presente en todas las estaciones regeneradoras, mientras que el Byte E2 corresponde a un canal expreso entre terminales. Se trata de canales de 64 kb/s con codificación PCM.

*Control de errores.* El control de errores se efectúa mediante los Bytes de la trama de sección SOH. El Byte B<sub>1</sub> permite el control de BER entre repetidoras mientras que los Bytes B<sub>2</sub> lo hacen entre terminales. Se puede obtener de esta forma una evaluación actual e histórica del desempeño (calidad G.821/826) de la transmisión.

*Sistemas de operaciones.* El sistema de operaciones dispone de accesos al terminal de línea con las interfaces F (mediante una PC) y Q (red de gestión TMN). Desde un equipo se puede operar sobre cualquier otro de la red ya que se encuentran conectados mediante los canales de datos D<sub>1</sub> a D<sub>12</sub>. Los Bytes D<sub>1</sub> a D<sub>3</sub> permite un canal de comunicación de datos entre regeneradores DCCR y los Bytes D<sub>4</sub> a D<sub>12</sub> permiten un canal entre multiplexores DCCM. Cuando se trata de un sistema STM-4 o STM-16 los Bytes de servicio (errores, orderwire, canal de datos) se envían solo en un STM-1 del conjunto total. El canal de comunicaciones mediante la interfaz Q se normaliza para la Red de Gestión de Telecomunicaciones TMN.

*Corte automático del Láser (ITU-T G.958).* Cuando se produce un corte en el cable de fibras ópticas se dispone de un circuito que detecta la pérdida de recepción por más de  $500 \pm 50$  mseg y procede a cortar la emisión del Láser como prevención de accidentes. En forma periódica (con retardo entre 60 y 300 seg) se restablece la transmisión (durante  $2 \pm 0.2$  seg) como prueba de enlace. Cuando se recibe señal normalmente se retorna a la emisión normal del Láser. Para efectuar pruebas se puede efectuar el encendido manual durante  $90 \pm 10$  seg (medición) o  $2 \pm 0.2$  seg (verificación de continuidad). Así mismo puede apagarse el láser temporalmente mientras se efectúan las reparaciones para evitar el encendido automático de revisión que efectúa el equipo periódicamente.

*Alimentación.* La alimentación para los equipos será local siempre que se pueda. En cables interurbanos con repetidores ubicados en lugares despoblados puede usarse la telealimentación o disponer de alimentación no convencional (celdas solares). La alimentación de amplificadores ópticos de Erblio puede ser mucho más económica que los regeneradores.

*Interfaz óptica* (ITU-T G.957). Se determina una interfaz típica con la secuencia Aplicación-Nivel-Sufijo. La aplicación será I-intercentral; S-corta distancia; L-larga distancia. El nivel se refiere a STM-N. El sufijo será 1- para 1310 nm G.652; 2- para 1550nm G.652/4; 3- para 1550nm G.653. En la Tabla V se muestran las características definidas por la UIT-T para sistemas ópticos.

Tabla V. Características definidas por la UIT-T para sistemas ópticos.

Tipo	I1	S-1.2	S-4.3	S-16.2	L-16.3
Fuente Láser	MLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Pmax Tx dBm	-8	-8	+2	0	0
Atenuación dB	0 a 7	0 a 12	10 a 24	0 a 12	10 a 20
dBm a VER=10-10	-23	-28	-28	-18	-26
Sobrecarga dB	-8	-8	-8	0	-10

### 2.6.5. Sincronismo

El Plan de Sincronismo de una red involucra estratos de temporización. Localmente la temporización del estrato 1 o reloj de referencia primario **PRC** puede obtenerse desde relojes atómicos de Cesio. En condiciones ideales se pueden obtener estabilidades mucho mejores a  $10^{-11}$ ; equivalente a 1 segundo de error cada 30 mil años. Sin embargo, se requieren 2 o más unidades localizadas en el mismo lugar a fin de dar suficiente redundancia y confiabilidad. Pueden ser subordinados a un receptor de temporización satelital **GPS**. Los relojes de estrato 2 y 3, denominados de tránsito y local **TNC-LNC**, se realizan mediante Rubidio o Cuarzo (doble cámara térmica). Los relojes distribuidos en los equipos de transmisión son realizados mediante VCO de cuarzo.

Tabla VI. Relojes involucrados en una red de sincronismo.

**SSU** Es un reloj de tipo PRC, TNC o LNC. Con SSU el sincronismo pasa a formar parte de la estación de comunicaciones. Este concepto facilita la operación del sincronismo y su gestión. Se sincroniza desde una o dos entradas externas, en este caso por distinto camino. Todos los equipos de la estación adoptan la temporización desde el SSU. La central de conmutación también es dependiente del SSU.

**PRC** (*Primary Reference Clock*) Es un reloj de Cs o Rb (subordinado o no al GPS) con estabilidad  $1 \times 10^{-11}$ . PRC debe cumplir con la norma UIT-T G.811.

**TNC** (*Transit Node Clock*) En el estrato 2 se adopta un concepto SSU con estabilidad  $1 \times 10^{-9}$ . Se realiza mediante relojes de cuarzo en doble cámara térmica o mediante Rb. Debe cumplir la norma ITU-T G.812. El número máximo de relojes TNC debe ser 10. El TNC se encuentra ubicado en un extremo de la línea de sincronismo. Puede recibir también sincronismo desde 2 líneas distintas (provenientes desde el PRC). Puede disponer de un receptor GPS para subordinar al TNC en caso de falla. En ausencia total de subordinación se autoconfigura en la función Hold-over. Debe evitarse una larga cadena en cascada de relojes LNC entre TNC (máximo de 2). LNC recibe temporización desde ambos extremos (TNC).

**LNC** (*Local Node Clock*) Es el estrato 3 con estabilidad de  $2 \times 10^{-8}$ . Se realiza mediante relojes de cuarzo compensado en temperatura. En este caso se dispone de dos alternativas un **VCXO** (*Voltage Control Cristal Oscilator*) o **OCXO** (con control numérico y filtrado digital). Debe cumplir con G.812.

**SETS** (*Synchronous Equipment Timing Source*) Los equipos de transmisión SDH llevan una fuente de reloj interno que determina una estabilidad de 4,6 ppm. La norma es **ITU-T G.81s**. El número máximo de SETS entre SSU debe ser 20 (G.803). En G.81s se determinan las características de Jitter y Wander de un reloj de equipo SDH (SETS).

El Plan de distribución del sincronismo en una red parte desde los relojes primarios y mediante enlaces o anillos PDH/SDH se propaga hacia el exterior. Sin embargo, por

razones de redundancia, se requieren relojes distribuidos y la reconfiguración en caso de corte. El plan de sincronismo toma en cuenta:

- El sincronismo dentro de una oficina de comunicaciones.
- La programación del sincronismo de los equipos de transmisión.
- La propagación de la temporización y reconfiguración de la red.

La Bellcore en 1993 ha definido los conceptos temporización de *inter-office* e *intra-office*. La parte *inter-office* se ocupa de la propagación del sincronismo; en tanto que *intra-office* incorpora un bastidor que realiza las funciones de recuperación, limpieza y composición de una referencia secundaria (reloj maestro de estación) respaldado por un oscilador propio.

El bastidor *intra-office* se trata de un complejo donde el oscilador local puede ser un par de relojes de rubidio o de cuarzo y distribuye la temporización a toda la sala de equipos.

A este bastidor se lo denomina:

-**BITS** (*Building Integrated Time Supply*) por Bellcore y

-**SSU** (*Synchronization Supply Utility*) por el ITU-T.

El SSU puede ser PRC, TNC o LNC, de acuerdo con el reloj incorporado.

**JERARQUÍA SDH.** En tanto en PDH lo normal es el sincronismo interno, los equipos SDH se configuran para recibir la temporización desde el exterior en condiciones normales de funcionamiento. Solo en caso de falla se pasa al sincronismo interno. Una particularidad de gran importancia en SDH es que todos los equipos multiplexores y de transmisión se encuentran sincronizados desde la misma fuente.

#### **Alternativas de sincronismo en el SETS.**

**Clock Sistema -Fuente externa** desde una entrada de 2048 kHz:

- Desde un SSU de estrato 1/2/3.
- Desde la salida externa de otros equipos.

- Sincronismo desde las **entradas tributarias**:
  - Desde 2 Mb/s para el multiplexor STM-1.
  - Desde STM-1 para el mutiplexor STM-N.
- Sincronismo desde la **señal de recepción** (STM-N).
  - Sincronismo en loop (transversal hacia atrás) y
  - Sincronismo longitudinal hacia adelante (en repetidores).
- Sincronismo desde el **demodulador** (enlaces de radio STM-1).

**Salida Clock** -Se trata de la salida de reloj hacia otro equipo o al SSU. Las alternativas son:

Reloj de sistema, entrada de tributario o *sqelch* (silenciamiento de la señal de salida).

**Clock Interno -Holdover.** Para el caso de falla de las distintas fuentes de entrada. Es el promedio de los últimos estados de frecuencia memorizados. Entrega una estabilidad de  $\pm 4.6$  ppm por 24 horas.

**Free-run.** Para el caso de falla del estado hold-over. Es un reloj interno de cristal con estabilidad de  $\pm 15$  ppm o mejor.

## LOOPBACK DE SINCRONISMO

Al desarrollar el Plan de Sincronismo hay que evitar los posibles loopbacks cerrados de temporización. Se destacan las siguientes particularidades:

- Los loopbacks de sincronismo producen regiones aisladas de temporización con inestabilidades causadas por la realimentación.
- Para evitar el loopbacks de sincronismo pueden usarse los mensajes de gestión (Byte S1) y relojes TNC con Hold-over.
- En una estructura en anillo deben existir al menos 2 nodos con relojes TNC. Las vías de acceso a ellos deben ser distintas.
- La subordinación a GPS permite disponer de varias referencias primarias distribuidas.

## 2.7. Gestión de redes SDH

Los componentes que constituyen la red de gestión SDH son los siguientes:

- Unidad de Control y unidad de Gestión del equipo.
- Canal de comunicación hacia la PC que oficia de terminal local.
- Canal de comunicación entre equipos de la misma red.
- Red de comunicación entre distintos equipos en una misma estación.
- Red de comunicación en el Centro de Gestión

**UNIDAD DE CONTROL.** Un equipo de la red SDH (multiplexor Add-Drop, terminal de línea óptica o radioenlace, Cross-connect, etc) puede visualizarse como una serie de unidades con distintas misiones y funciones. La unidad de control mantiene actualizada la base de datos del equipo y permite la comunicación con el operador del Terminal Local.

**TERMINAL LOCAL.** La interfaz F permite comunicar al equipo con una PC (*Notebook* o *Laptop*) exterior de forma tal que pueden realizarse funciones de programación local. Esta función es necesaria en la configuración inicial del equipo cuando aún no se han ingresado los parámetros de comunicación de red (direcciones MAC, NSAP e IP) que permiten la conexión remota.

**UNIDAD DE GESTIÓN.** Para efectuar las funciones de gestión remota TMN se requiere de una unidad de gestión que procesa los protocolos de comunicación apropiados (normas ISO para la TMN). Esta unidad puede ser la misma o distinta a la unidad de control.

**COMUNICACIÓN ENTRE ESTACIONES.** La comunicación entre los equipos que forman un enlace SDH ubicados en distintas estaciones se realiza mediante un canal de comunicaciones dedicado en la trama STM-1. Dicho canal se llama **DCC** (*Data Communication Channel*).

**COMUNICACIÓN ENTRE DISTINTOS EQUIPOS.** En una estación pueden coexistir distintos tipos de equipos SDH (multiplexores, terminales de FO, radioenlaces, etc) y distintos enlaces que conforman la red. Para efectuar la interconexión de los mismos se requiere de la interfaz Q desde la Unidad de Gestión.

INTERFAZ Q1/Q2/Q3. Q1/Q2 se indican en la norma UIT-T G.771 y Q3 en Q.513. Q3 se encuentra en la norma UIT-T G.773 que identifica las capas del modelo ISO. Existen 5 variantes para Q3 propuestas y denominadas A1/A2/B1/B2/B3. La variante Q3/B2 se usa para comunicación con protocolo X.25 mientras que la variante Q3/B3 se usa para una salida LAN Ethernet (la LAN pertenece al sistema de operación).

LAN ETHERNET. Normalmente los equipos SDH disponen de una interfaz física de conexión **AUI** que permite acceder al equipo mediante una LAN (10BaseT o 10Base2 – para equipos antiguos). En esta interfaz se conecta un transreceptor Ethernet con conexión coaxial BNC (10Base2) o RJ45 (10BaseT). Todos los equipos a ser gestionados por la TMN deben ser interconectados mediante esta LAN. El protocolo de capa 2 es el definido en IEEE 802.3 (MAC y LLC). Para configurar correctamente la LAN se debe programar a cada equipo con una dirección **MAC** distinta. Los equipos tellabs utilizados para este diseño emplean el tipo de interfaz LAN ETHERNET.

**DIRECCIONAMIENTO.** La configuración inicial de la red de Gestión involucra la programación de los parámetros de comunicación. Se trata de las capas 2/3/4. Se disponen de tres estructuras de suite de protocolos: LAN, ISO y UNIX.



### **3. DISEÑO DE RED INTERNACIONAL STM-n CON INTERFACES STM-16 y STM-64 SUB-UTILIZADAS**

#### **3.1. Consideraciones generales**

El propósito de este proyecto es el de diseñar una red de transmisión entre los sitios predominantes de interconexión internacional de la empresa Navega:

1. POP Puerto Barrios, Guatemala
2. POP Nap de las Américas, Miami, Florida, USA.

Dicha red de datos debe ser confiable y cumplir al menos con las siguientes características:

- Debe ser una red integral.

Su naturaleza debe permitir la integración de varias tecnologías sobre una misma capacidad. Esto se debe a que el arrendamiento de capacidades internacionales por medio de un proveedor de cable submarino requiere una inversión económica bastante grande, por lo que es recomendable aprovecharlas utilizando distinto tipo de tráfico. Así mismo, en la medida que se logre diseñar una red que permita el transporte de distintos tipos de tecnologías, esta tendrá mayor valor a largo plazo.

- Debe ser una red estable

Este término se refiere a que, la red que se implemente debe ser tal, que no permita el ingreso –por encima de los niveles aceptables, de transmisiones no deseadas como: ruido, jitter, fallas de sincronismo; a los bloques de datos que esta transporta.

- Debe ser confiable en cuanto a tiempos de disponibilidad

En una red de transmisión de datos, principalmente cuando se trata del ámbito internacional, se manejan tiempos de disponibilidad muy altos (generalmente en el orden del 99.9x%). Esto, debido a las exigencias de los clientes involucrados, quienes desean

mantener las comunicaciones con sus oficinas remotas durante las 24 horas del día. De esto se derivan los acuerdos de nivel de servicio (SLA) que se firman con los clientes y proveedores, en los cuales se especifica el tiempo de disponibilidad del enlace y por debajo de este nivel, la empresa prestadora de servicios tendrá penalizaciones económicas e incluso puede derivarse en la cancelación del contrato. Aunque parezca más un tema comercial que técnico, la parte del diseño de ingeniería del proyecto debe contemplar los mecanismos adecuados para cumplir y superar los niveles de disponibilidad necesarios.

- Tiempo de retardo

El tiempo de retardo, se refiere a la cantidad de milisegundos que utiliza un paquete de información para ir de un punto a otro dentro de una red. Debe buscarse el diseño tal que utilice el menor tiempo posible para un recorrido entre cada punto de la red. Este elemento puede ser de gran importancia dependiendo del tipo de aplicación que se esté utilizando en los extremos del enlace. Para algunas aplicaciones, el enlace digital puede ser inútil por encima de cierto valor (ms) de retardo en la llegada de la información desde el punto A hacia el punto Z.

- Manejo de esquemas de protección automática

Esta característica está íntimamente ligada al tiempo de disponibilidad de la red. En caso de avería en una de las rutas principales del enlace, el sistema deberá ser capaz de detectar el problema y ejecutar un algoritmo prediseñado para habilitar un sistema de transmisión de emergencia, que habilite las comunicaciones en la red mientras se repara la avería anteriormente mencionada.

- Tiempos de conmutación para habilitación de protecciones

El tiempo que se lleva un sistema en trasladar el tráfico desde el segmento principal de una red hacia una ruta de protección o redundancia en caso de avería, es llamado tiempo de conmutación. Si dicha conmutación se realiza de manera manual, el tiempo de conmutación se hace muy grande, pues depende de muchos factores humanos como el tiempo que transcurre entre una avería y su detección por un operador hasta la habilidad

técnica del operador para realizar la conmutación. Hoy en día existen muchas tecnologías de comunicaciones digitales que manejan protocolos de conmutación automática; la principal diferencia entre cada uno de estos es el tiempo de respuesta para efectuar la conmutación, el cual va desde varios minutos hasta el orden de muy pocos milisegundos.

- Crecimiento y flexibilidad a corto y mediano plazo

El diseño de la red debe ser tal, que en determinado momento pueda permitir un fácil crecimiento en lo referente a capacidad, esto con el objetivo de no tener que realizar todo el mismo proceso nuevamente cada vez que se desee implementar más capacidad.

El diseño de red debe permitir realizar ajustes de manera flexible, que puedan ser necesarios a lo largo de la vida útil del proyecto; en cuanto a cambios de protecciones, mejoras de tecnología, upgrades de software y hardware, etc.

- Rentabilidad

Los costos de implementación, operación y mantenimiento del proyecto, sumados al costo que debe pagarse al proveedor de capacidad internacional deben ser menores que los costos de recuperación, en los cuales se incluye la renta que se obtiene de los clientes por concepto de cobro de enlaces digitales.

### 3.2. Topología de red

La topología de una red es el arreglo físico en el cual los dispositivos de red se interconectan entre sí sobre un medio de comunicación. Existen varias topologías de red básicas (ducto, estrella, anillo y malla), pero también existen redes híbridas que combinan una o más topologías en una misma red.

#### **Topología de anillo**

Una topología de anillo conecta los dispositivos de red uno tras otro sobre la fibra óptica (o cable) en un círculo físico. La topología de anillo mueve información entre dos elementos de red sobre la fibra óptica en una dirección y es considerada como una

topología activa. Los elementos en la red retransmiten los paquetes que reciben y los envían al siguiente equipo en la red. Para el caso de transmisiones SDH, no es necesario que la trama sea demultiplexada para pasar de un equipo al otro; simplemente serán multiplexados los paquetes de información que necesiten ser tributados en el sitio en cuestión. Este tipo de topología posee la particularidad de tener una ruta de trabajo o principal entre dos nodos y otra de protección; la cual empezará en funcionamiento al momento de una falla. Puede darse el caso que para llegar a dos sitios particulares existan rutas principales y de protección por el mismo segmento de fibra óptica; lo que hace la diferencia en este caso es que al momento de una falla únicamente conmutaran los circuitos cuya ruta principal haya sido afectada.

### **Topología de estrella (star)**

Este tipo de topología generalmente es utilizado en sistemas de telecomunicaciones basados en IP o redes de computación. En una topología de estrella, los equipos en la red se conectan a un dispositivo central conocido como concentrador o a un conmutador de paquetes. Cada equipo terminal se conecta con su propio medio físico (cable o F.O.) a un puerto del concentrador o conmutador. Este tipo de red sigue siendo pasiva, utilizando un método basado en contención. Debido a que la topología estrella utiliza un medio de conexión para cada equipo terminal, es muy fácil de expandir, sólo dependerá del número de puertos disponibles en el concentrador. La desventaja de esta topología es la centralización de la comunicación, ya que si el hub falla, todos los elementos que dependan de éste se verán afectados.

En telecomunicaciones se utiliza normalmente este tipo de topología para entregar enlaces de última milla, los cuales se derivarán de un solo nodo ubicado en un punto tal que pueda darse cobertura a varios clientes.

### **Topología de malla (mesh)**

La topología de malla (también conocida como mesh) utiliza conexiones redundantes entre todos los dispositivos de la red, como una estrategia de tolerancia a fallas. Cada

dispositivo en la red está conectado a todos los demás (todos conectados con todos). Cuando se utiliza para el core de una red de telecomunicaciones, este tipo de topología requiere de una gran inversión en cuanto al medio físico (fibra óptica, cobre o radiofrecuencias) y al equipamiento que deben poseer las terminales en cada sitio para poder recibir las conexiones provenientes de toda la red. Debido al esquema de redundancia que utiliza, la red puede seguir operando si una o varias conexiones se ven afectadas por una falla.

Las redes de malla son poco utilizadas, principalmente por el aspecto económico de su implementación y mantenimiento, los cuales obviamente, son sumamente más elevados que en las redes que utilicen otro tipo de topologías.

#### **Topología lineal (sin protección)**

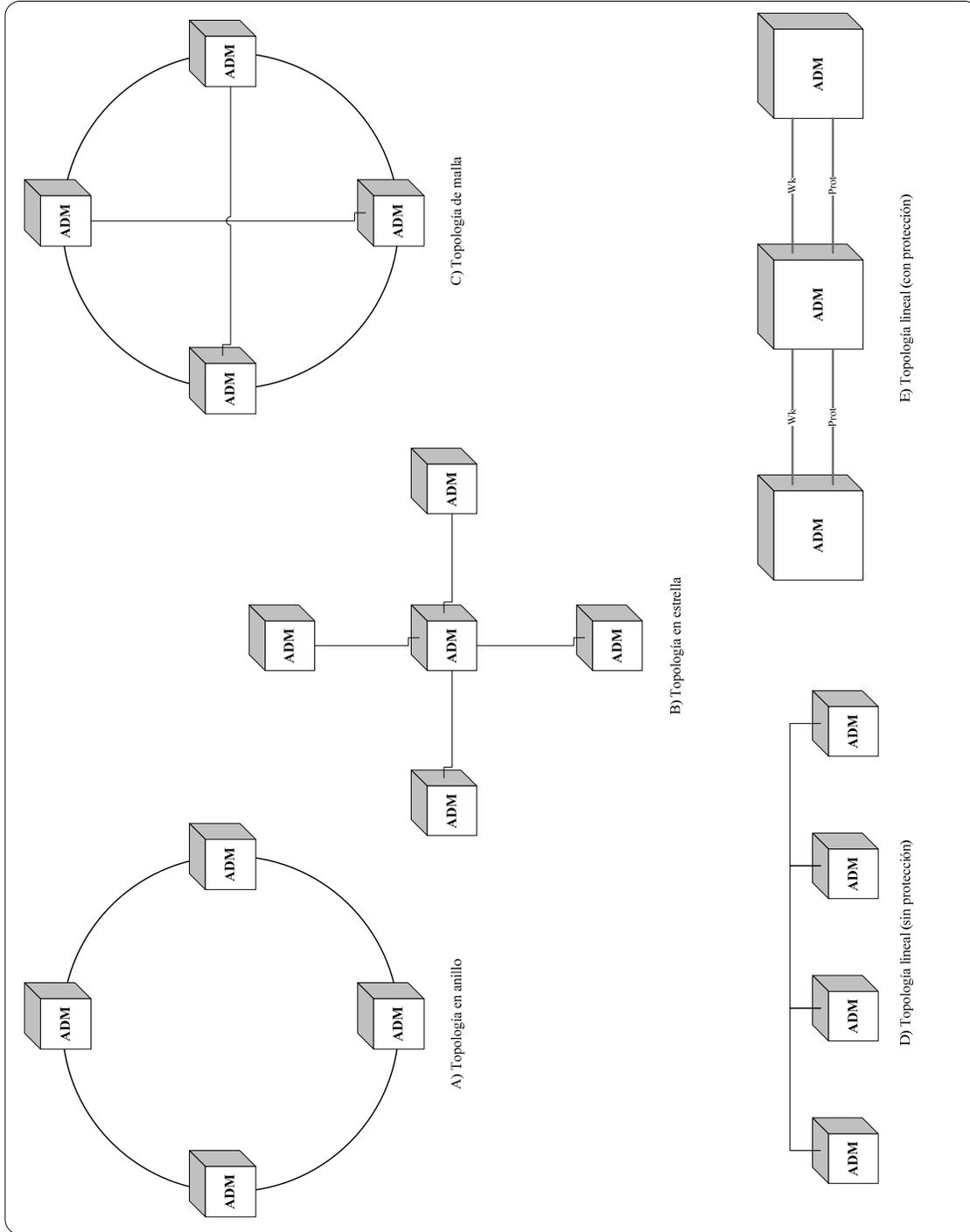
En este tipo de topología se tiene un único medio para llegar a dos nodos. Por consiguiente, es un esquema pasivo que no maneja redundancia. Una falla en el cable de fibra óptica puede afectar a todos los elementos de red que se encuentren más allá del lugar afectado; sin que se tenga una ruta de contingencia para la restauración de las comunicaciones. Este tipo de esquema se utiliza normalmente en lugares en donde no es crítico mantener las comunicaciones durante todo el tiempo, pues por sus características no se puede garantizar una continuidad de servicio alta.

#### **Topología lineal (con protección)**

Este tipo de topología es tal que el medio físico utiliza dos caminos para alcanzar de un nodo a otro. Se utiliza normalmente en configuraciones de pocos elementos de red o en ciudades pequeñas, pues las rutas del medio físico normalmente difieren en pocos metros una de la otra. Esta topología presenta un tipo de redundancia bastante práctico y no representa un alto nivel de inversión económica. Adicionalmente se utiliza entre dos nodos cuando se trata de interconexión entre operadores y cuando se trata de esquemas SDH maneja un tipo de redundancia llamado MSP 1+1.

En la figura 7 se presentan esquemas de los tipos de topologías anteriormente descritos.

Figura 7. Topologías comunes en redes de telecomunicaciones.



Para el caso de este proyecto se han escogido los siguientes esquemas topológicos dependiendo de la parte de la red que se trate:

Porción de cable submarino: Anillo

Red de retroceso (Backhaul): Anillo

Acceso Local (Local loop): Anillo

Interconexión (ambos sitios): Lineal 1+1

### 3.3. Planificación de redundancia de la red.

#### 3.3.1. Concepto de redundancia

Se entiende como redundancia el exceso de capacidad implementada en los sistemas de transmisión digital, cuya finalidad es la de proveer un camino alternativo que evite pérdidas en las comunicaciones; en el evento de una falla o avería de uno o varios elementos de red. En el caso de transmisión SDH se tienen varios tipos de redundancia o protección, los cuales serán descritos en la siguiente sección.

#### 3.3.2. Esquemas de protección

La gran capacidad de los enlaces SDH hace que un simple fallo de enlace pueda tener un impacto nocivo en los servicios proporcionados por la red si no se dispone de una protección adecuada. Una red resistente que asegure el tráfico que porta y que puede restaurarlo automáticamente ante cualquier evento de fallo es de vital importancia. Los sistemas de transmisión SDH permiten desplegar esquemas de protección estándar.

##### **Terminología básica:**

**Subred:** Una única red puede ser vista como la interconexión de múltiples subredes. Un anillo es un simple ejemplo de subred. Estas subredes pueden estar organizadas en diferentes áreas geográficas o a través de diferentes operadores.

**Supervivencia:** Una red puede ser descrita como superviviente si no hay un punto singular de fallo entre dos nodos. La provisión de una ruta principal y otra alternativa

entre dos nodos finales de la red significa que la red es superviviente en presencia de un punto de fallo único.

**Disponibilidad:** Es la medida de la proporción de tiempo que la red está disponible para proporcionar servicios al cliente final. Indica con que frecuencia o consistencia la red puede proporcionar funciones de transporte en los cuales el servicio requerido es perfectamente empleable por el cliente final. Como esto es importante para el cliente, este factor contribuirá a la definición de nivel de servicio garantizado (SLA). El SLA es típicamente medido como un porcentaje de tiempo de una conexión en funcionamiento. Esto da cuenta de la supervivencia de una red, de la tasa de fallos de sus componentes y de los tiempos de reparación. Este término refleja la calidad de servicio promedio que un cliente final puede esperar de un operador.

Para conseguir esta disponibilidad podemos tomar alguno de los siguientes caminos:

- **Protección de equipamiento:** La disponibilidad del equipamiento puede ser implementada mediante aplicación de protecciones locales en el propio elemento de red. Por ejemplo, las alimentaciones, sistemas de reloj, o unidades tributarias pueden ser duplicadas. Una tarjeta en fallo será reemplazada por su protección automáticamente donde este esquema de protección esté presente.

- **Resistencia de red:** Para incrementar la supervivencia de la red y por tanto la disponibilidad, los enlaces de red pueden ser protegidos. Procedimientos son aplicados para asegurar que el fallo de un enlace de transporte sea reemplazado por otro enlace en producción y que hay un camino alternativo ante la existencia de un fallo total de un nodo. Hay dos tipos de mecanismos utilizados para asegurar que el servicio pueda ser recuperado de esta manera:

- **Restauración:** Esto es un proceso lento automático o manual la cual emplea capacidad extra libre entre nodos finales para recuperar tráfico después de la pérdida de servicio. Al detectarse el fallo, el tráfico es reenrutado por un camino alternativo. El camino alternativo se encuentra de acuerdo con algoritmos predefinidos y generalmente emplea cross-conexiones digitales. Este proceso puede tomar algunos minutos.

- **Protección:** En contraste, la protección abarca mecanismos automáticos con elementos de red, los cuales aseguran que los fallos sean detectados y compensados antes de que ocurra una pérdida de servicios. La protección hace uso de capacidad pre-asignada entre nodos y es preferible a la restauración porque la capacidad de reserva siempre estará disponible pudiendo ser accesible mucho más rápido.

**Causas de fallo:** Las fuentes físicas de fallo en redes de transmisiones SDH pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

- Fibras y cables: La principal causa de fallo de fibras y cables es el daño causado por agentes externos como los trabajos de ingeniería civil y los efectos del entorno como rayos o terremotos.

- Equipamiento puede fallar debido a efectos del envejecimiento, forzado de componentes o la aparición de humedad. Rigurosos test son, de todos modos, realizados normalmente para eliminar fallos en la juventud de los equipamientos.

- Fallos de alimentación apagan el nodo cuando aparecen y que están fuera del control del operador. Los sistemas principales son provistos de reservas mediante sistemas de alimentación secundarios, pero los efectos transitorios en la señal pueden ocurrir mientras se conmuta al sistema de back-up.

- Mantenimientos: Mantenimientos no programados y errores realizados durante el mantenimiento pueden afectar a la disponibilidad del servicio.

- Desastres causados por la acción del entorno o humana, generalmente de gran alcance y con severos efectos, tales como la destrucción de componentes principales de la red.

**Protección de Equipamiento:**

Los objetivos de calidad son establecidos para los elementos en una red SDH y esto afecta a la medida de disponibilidad de la red. Para alcanzar los requerimientos de disponibilidad es necesario en ocasiones duplicar módulos en los elementos de red.

Cada componente de los elementos de red tiene asociado una tasa de fallo con él. Esto es usado junto con la información contemplada de interacción de componentes para calcular la tasa de fallos para tarjetas de circuitos. De manera similar las tasas de fallos de las tarjetas y la información de interacción son usadas para calcular la tasa de fallo de

los elementos de red. Tomando en cuenta los tiempos de reparación y los fallos de software, se calcula una medida general de disponibilidad para los elementos de red.

La disponibilidad puede ser mejorada provisionando un componente en stand-by que emplear en caso de fallo. Esta protección local es comúnmente aplicada en algunas unidades como son las de alimentación, generación de reloj, matriz de cross-conexión y tarjetas tributarias.

Así, una tarjeta tributaria puede ser provisionada en stand-by en un elemento de red. Ante un evento de fallo de la tarjeta tributaria que se encuentra trabajando, el tráfico es automáticamente conmutado a la tarjeta de reserva de modo que no haya una interrupción de servicio para el usuario final.

Fallos de tarjetas no son la única razón para protección de tributarios. Las tarjetas de reserva también pueden ser usadas durante rutinas de mantenimiento. El tráfico puede ser manualmente conmutado a la tarjeta de backup mientras la tarjeta primaria sigue funcionando. Esto también posibilita que la tarjeta en servicio sea actualizada mientras el elemento de red está en servicio sin interrupción de servicio al usuario final.

Hay diferentes esquemas estándar para protecciones de equipamiento. Por ejemplo, si una tarjeta en stand-by se incluye por cada tarjeta en funcionamiento, estas tarjetas tienen protecciones 1+1.

Es también común provisionar una tarjeta de protección para diversas tarjetas operativas. Ante un evento de fallo en alguna de las tarjetas en producción, el tráfico es normalmente conmutado hacia la tarjeta de protección. A este sistema se le denomina protección **1:n**.

Por ejemplo, en un multiplexor STM-16, la protección 1:16 podría ser implementada en tarjetas tributarias STM-1. Dieciséis tarjetas STM-1 eléctricas podrían ser instaladas en el armario para soportar a los dieciséis tributarios STM-1. Una decimoséptima tarjeta podría ser instalada como tarjeta en stand-by. Ante un evento de fallo en una de las tarjetas STM-1, el tráfico puede ser conmutado a la tarjeta en stand-by de protección.

La protección de equipamiento incrementa la disponibilidad de los elementos de red individuales pero no protege el sistema contra pérdidas de elementos de red enteros.

Para asegurarse que el tráfico puede ser reenrutado si un elemento de red es perdido, los esquemas de protección han de implementarse para incrementar la supervivencia de la red. La resistencia de la red frente a la protección local de equipamiento es requerida para proteger contra fallos de un nodo o pérdida de un enlace.

### **Protección de Conexión de Subred (SNCP):**

**SNCP** es similar a camino de protección, pero en el cual, el camino de protección dedicado involucra conmutación en ambos extremos del camino, mientras que la conmutación **SNCP** puede ser iniciada en un extremo de la ruta y llegar hasta un nodo intermedio. La red puede ser descompuesta con un número de subredes interconectadas. Con cada protección de subred se proporciona un nivel de ruta y la conmutación automática de protección entre dos caminos es proporcionada en las fronteras de subred. La selección de la señal de mayor calidad se realiza, no únicamente por el elemento de red en el extremo del camino, sino que también en nodos intermedios a la salida de cada subred que es atravesada por la ruta.

El contenedor virtual no termina en el nodo intermedio, en cambio compara la calidad de la señal en los dos puertos entrantes y selecciona la señal de mejor calidad.

Ante un evento de dos fallos simultáneos, la conmutación de protección debe ocurrir en el nodo intermedio A para que el tráfico alcance el extremo contrario. **SNCP** genera una alta disponibilidad para la conexión que el camino dedicado porque **SNCP** permite a la red sobreponerse a dos fallos simultáneos cosa que el camino de protección no permite.

En principio, el camino de protección extremo a extremo parece tener mucho atractivo; una amplia protección en redes extremo a extremo es posible y las rutas individuales pueden ser selectivamente protegidas. Aun así, es requerido un complejo control que asegure realmente diversas rutas.

Una gran cantidad de capacidad es usada y es muy difícil de coordinar actividades de mantenimientos programados a lo largo de la red. El camino de protección llega a ser, de todos modos, cuando queda limitado al nivel de subred, es decir, **SNCP**. **SNCP** trabaja especialmente bien sobre anillos, porque se aseguran diversas rutas de fibra.

La resistencia puede ser ofrecida a un número de capas incluyendo el camino extremo a extremo (trazado), el nivel de subred y el nivel de sección de multiplexación. Los mecanismos descritos anteriormente ofrecían protección a la ruta extremo a extremo y al nivel de subred. Esto involucra la protección de contenedores virtuales individuales a través de una ruta punto a punto. Si existe un evento de fallo, únicamente el contenedor virtual en cuestión es conmutado a una ruta alternativa, así que la protección individual para un único VC es posible. Por ejemplo, un cliente puede requerir protección para una línea alquilada, de modo que el camino de este circuito pueda ser protegido a través de toda la red sin necesidad de proteger el resto de tráfico que por ella transita.

Cabe destacar que ambos esquemas, protección de camino punto a punto y camino de subred pueden ser aplicados tanto para caminos de alto orden como de bajo orden (tanto para VC-4 como para VC-12).

Los anteriores ejemplos describían una configuración extremo simple 1+1. Esto podría mencionarse que es posible una configuración extremo doble 1:1, permitiendo a tráfico de baja prioridad emplear las rutas de protección. Esta mención se ha recogido en la recomendación ITU-T G.841 pero sin definición formal.

#### **Protección de Línea de la Sección de Multiplexación:**

Este procedimiento opera con una sección de tráfico ubicada entre dos nodos adyacentes. Entre estos dos nodos hay dos enlaces separados o dos diferentes fibras: la operativa y la de protección. Ante un evento de fallo del enlace, la señal entrante debe ser conmutada de la fibra activa a la de protección.

Hay dos tipos diferentes de protección de Sección de multiplexación (MSP):

- Protección 1:1 es un esquema de doble extremo. El tráfico es inicialmente enviado por el enlace activo únicamente. Se detecta un fallo en el extremo contrario cuando no recibimos tráfico por un periodo prolongado de tiempo. Una señal es enviada al extremo transmisor que dispara las conmutaciones de protección, enviando el tráfico hacia la línea de back-up en ambos extremos. Esto significa que tráfico de baja prioridad puede ser portado por el canal de protección mientras el tráfico viaje por el canal operativo. Este tráfico se perderá cuando se inicia un proceso de conmutación de protección.

- Protección 1:n es similar al tratado 1:1 con la excepción de que varios canales operativos pueden ser protegidos por un único canal de back-up.
- Protección 1+1 MSP donde el tráfico es inicialmente enviado tanto por la ruta activa como por la ruta de protección. Si se detecta una pérdida de tráfico, en el extremo receptor se comienza un proceso de conmutación hacia el camino de protección. No hay necesidad de enviar señalización hacia atrás, aunque de todos modos, la sección de standby no puede ser utilizada para otro tráfico presentando unos altos requerimientos de capacidad de fibra.

**MSP** protegen tráfico entre dos elementos de red adyacentes, pero únicamente el enlace entre esos dos nodos, no aportando protección ante un fallo total de un elemento de red. Otra limitación es que requiere de diversos caminos físicos para fibra activa y de protección. Si ambas fibras se encuentran en la misma conducción y ésta es dañada, los dos caminos, el operativo y el de protección, se perderían.

Dos rutas alternativas deben ser dispuestas entre dos nodos adyacentes. Estas consideraciones se han de tener en cuenta cuando desplegamos este tipo de esquema de protección.

La protección lineal de la sección de multiplexación es típicamente usada para redes lineales malladas. Los diversos caminos físicos son, sin embargo, requeridos haciendo que la malla sea incrementalmente más compleja a medida que crece. Ante la escasez de fibra convertida en una situación crítica muchos operadores han optado por el despliegue de anillos. Los anillos aseguran que entre cada par de nodos hay un camino físico diferente que puede ser usado como ruta de protección.

#### **Comparación entre Esquemas de Protección:**

Como se puede apreciar en la Tabla VII, los esquemas de protección varían significativamente en sus características. No hay un óptimo esquema de protección. La elección puede ser determinada por el diseño de la red, por ejemplo, SPRings tiende a ser usado en una topología de anillo mientras que la restauración se emplea en redes malladas de alto nivel con gran cantidad de cross-conexiones.

Tabla VII. Comparación entre esquemas de protección

Esquema de Protección	¿Qué Protege?	¿Dónde aparece la Protección?	¿Es un esquema selectivo a nivel de VC?	¿Estandar?	Topología	Tiempo Típico de Conmutación
MS-SPRing	Todo el tráfico de la sección	Cualquier nodo en el anillo	NO	SI	Anillo	<50ms
1+1 MSP	Todo el tráfico de la sección	Nodos Adyacentes	NO	SI	Lineal/ Mayada	<50ms
Ruta Dedicada	VC individual	Nodo del extremo final del anillo	SI	SI	Mixta	<50ms
SNCP	VC individual	Nodo final o intermedio de la ruta	SI	SI	Mixta	<50ms
Restauración	VC individual	No hay conmutación de protección.	SI	NO	Mayada	>1min

La elección del esquema de protección puede ser también determinada por el nivel de red al cual el tráfico es portado. En las capas de backbone la tasa de transmisión es muy alta, del orden de **STM-16** o **STM-64**, así que la acumulación de tráfico portado en cada fibra es mucho mayor en enlaces de menor nivel. Una rotura de esta fibra tendría un impacto mucho mayor que una pérdida de señal en una fibra de bajo nivel. El backbone, por tanto, tiene justificado un esquema de protección completa como el 1+1 MSP.

Los patrones de tráfico varían dependiendo del nivel de red en el que nos encontremos. En la capa de backbone el tráfico es típicamente uniforme, portándose entre ciudades grandes, redes metropolitanas o redes de datos. En esta situación, una SPRing puede proveer una ventaja de capacidad sobre la ruta de protección. La reutilización de capacidad reservada para protección es también una consideración importante, como si

fuera un tráfico de anillo extra. En capas de backbone, la fibra puede ser escasa y es crítico hacer un óptimo uso del ancho de banda disponible.

En capas inferiores de la red, el tráfico es típicamente portado a un punto central que lo recolecta y lo transporta al siguiente nivel. Esto es conocido como tráfico concentrado. En esta situación las ventajas de **SPRings** no son grandes y la necesidad de proteger cada fibra no es crítica. Esquemas de protección de ruta selectiva como VC-Trail y protección **SNCP** son más comunes en esta situación. Por ejemplo, un cliente puede solicitar la protección de sus líneas de 2 Mbps, por lo que estos caminos VC-12 han de ser selectivamente protegidos con rutas de protección.

Ésta ruta está protegida a nivel VC-12 a través de toda la red. Si esta ruta estuviera solamente protegida a nivel de circuito de alto nivel, es decir, a nivel de VC-4, por MSP o MS-SPRing y hubiera una ruptura en una fibra de bajo nivel, este VC-12 se perdería. Un circuito VC-4 completo, de este modo, no se perdería, solo que el mecanismo de protección a nivel de VC-4 no detectaría el fallo. Un operador, por tanto, no debe considerar únicamente como trabaja su esquema de protección, sino como se interconexiona con los adyacentes.

Para las distintas partes del proyecto se han seleccionado los siguientes esquemas de protección:

Porción de cable submarino:	SNCP
Red de retroceso (Backhaul):	SNCP
Acceso Local (Local loop):	SNCP
Interconexión SDXC:	MSP 1+1
Interconexión con ADMs:	MSP 1+1
Tributarios STM-1:	1:1
Tributarios PDH:	1:n
Energía:	1+1
Crossconexiones:	1+1
Tarjeta de control:	1+1

### 3.3.3. Equipos multiplexores

#### ***Tellabs 6340***

Tellabs 6340 es un equipo de transmisión de redes de telecomunicaciones basado en los estándares y recomendaciones acerca de SDH y OTN emanadas por la ETSI y la UIT-T. Es un nodo switch que permite la construcción de redes adaptables fácilmente a nuevos servicios y con capacidades de fácil expansión. Es un cross-conector catalogado como una plataforma de provisionamiento de servicios múltiples (Multi Service Provisioning Platform MSPP) adecuado para la transmisión de diversos tipos de datos, voz y aplicaciones de líneas dedicadas.

Este elemento de red maneja varios tipos de interfaces, entre las que podemos mencionar:

#### **Interfaces ópticas**

- STM-1, STM-4, STM-16 (S-x.1, L-x.1, L-x.2) en donde “x” denota el nivel STM (1, 4 ó 16).
- Fast Ethernet (100BASE-FX)
- Gigabit Ethernet (1000BASE-SX/LX)

Todas las interfaces ópticas están hechas con transceivers interconectables (SFP).

#### **Interfaces eléctricas**

- Interfaces de 2 Mbit/s
- Interfaces de 34 Mbit/s
- Interfaces de 45 Mbit/s
- Interfaces STM-1
- Fast Ethernet (10/100BASE-T)

Las aplicaciones típicas de estos equipos son:

- ADM (add and drop multiplexer) en anillos STM-4 o STM-16
- Concentrador para múltiples anillos o enlaces STM-1 / STM-4 con equipos de menor capacidad.
- Nodo de recolección de tráfico.

#### Conectividad de alto nivel del nodo Tellabs 6340

- 100 puertos externos para matriz de cross-conexión 4/4
- Máximo de 32 puertos AU-4 en 2 interfaces ópticas (STM-1, STM-4, STM-16).
- 3 interfaces iSTM-4 para derivar tributarios y aumentar capacidad del nodo.

#### Conectividad de bajo nivel del nodo Tellabs 6340

- 32 puertos internos para matriz de cross-conexión 4/3/1
- Máximo de 56 contenedores VC-4.

Para efectos de este proyecto, los equipos Tellabs 6340 utilizados serán configurados como ADM.

Figura 8. Equipo Tellabs 6340 instalado en Nap de las Américas (POP Navega).

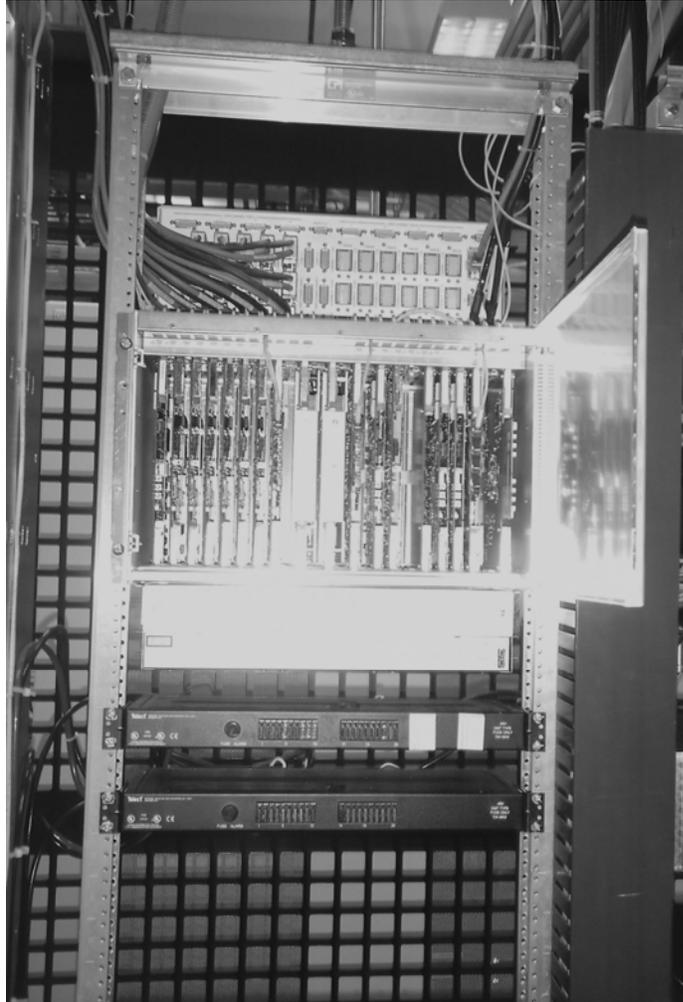


Figura 9. Equipo Tellabs 6340 instalado en POP Proveedor Capacidad Submarina.



### ***Tellabs 6350***

Tellabs 6350 es un equipo de transmisión de redes de telecomunicaciones basado en los estándares y recomendaciones acerca de SDH y OTN emanadas por la ETSI y la UIT-T. Es un nodo switch cross-conector de gran capacidad y está catalogado como una plataforma de provisionamiento de servicios múltiples (Multi Service Provisioning Platform MSPP) adecuado para la transmisión de diversos tipos de datos, voz y aplicaciones de líneas dedicadas. Ofrece además interfaces como Gigabit Ethernet (GbE) y DWDM integrado.

Este sistema de cross-conexión de alta densidad tiene la capacidad de arreglar y consolidar tráfico dentro de una red backbone.

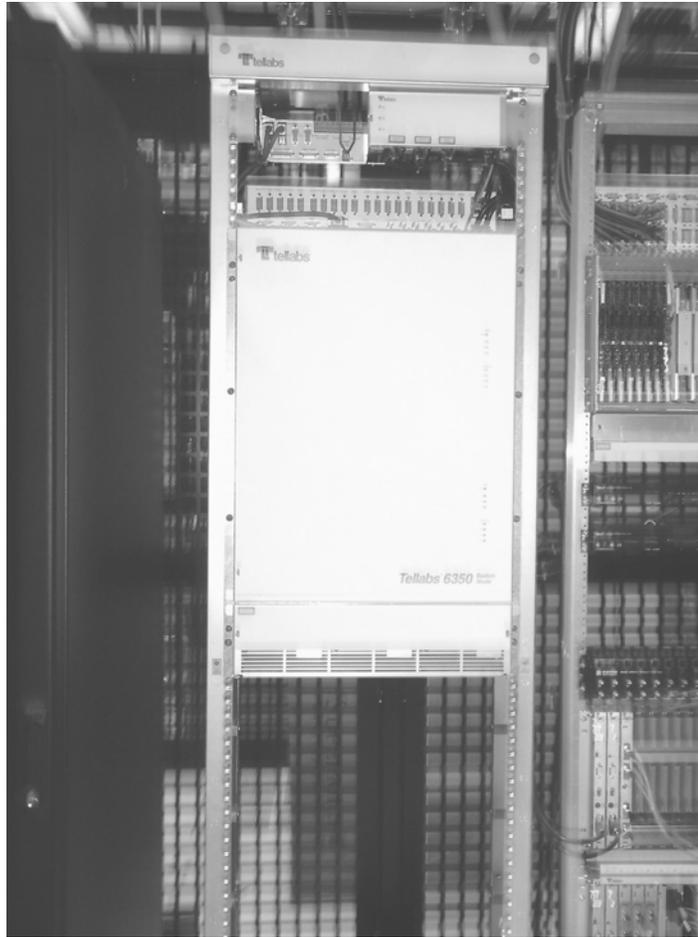
Soporta configuraciones de SDXC, ADM /TM, así como un amplio rango de interfaces ópticas:

- STM-1
- STM-4
- STM-16
- STM-64
- Interfaces coloreadas para DWDM
- GbE
- 10 GbE

Algunas de sus características son:

- Capacidad de cross-conexión
  - Alto Orden: 768 puertos 4/4
  - Bajo Orden: 128 puertos 4/3/1
- 20 slots universales para interfaces
- Protección de red
- Protección de equipo
- Puede ser utilizado para tributar 64xSTM-1s
- Con el equipamiento adecuado puede manejar 5 anillos STM-64 con conectividad total a nivel 4/4.

Figura 10. Equipo Tellabs 6350 instalado en Nap de las Américas (POP Navega).



Para efectos de este proyecto el equipo Tellabs 6350 estará configurado como SDXC.

Los módulos que se utilizarán en los equipos Tellabs 6340 y 6350 para el presente proyecto son los siguientes:

**CMCC (Central Management and Communications Controller):** forma la plataforma de hardware para el sistema de gestión. Provee las interfaces para craft, sistemas de alarmas y servicio. Lleva a cabo el manejo de configuraciones, desempeño, gestión de fallas y funciones de comunicación del nodo. Mantiene el software de aplicación para todo el elemento de red en una tarjeta flash de memoria no volátil. Todos los demás módulos cargarán software del módulo CMCC.

**PS (Power Supply Module):** Es el módulo de energía del nodo. Entrega hasta 60A a +5V y hasta 2A a -5V de las entradas de -48V. Opera a 48V o 60V nominal. Se pueden usar dos módulos PS para protección 1+1; en cuyo caso la carga es distribuida en ambos para evitar cualquier tipo de interrupción en el evento de falla.

**SIMXn:** Los módulos SIMX16 y SIMX1/4 son el núcleo del switch y al mismo tiempo las interfaces de los módulos agregados del nodo 6340. Provee funcionalidades de cross-conexión, sincronismo central del nodo, control de protección MSP, protección de equipos, expansión óptica y control local.

**SIM1/4:** Este módulo provee ya sea una interfaz STM-4 óptica o hasta cuatro interfaces STM-1. Es en esencia un módulo tributario SDH. Se utiliza únicamente en Tellabs 6340.

**SIMn:** Cualquiera de los módulos SIM1 (8 interfaces), SIM4 (8 interfaces), SIM16 (2 interfaces); son utilizados únicamente en equipos Tellabs 6350. Son en esencia módulos de tributación y/o agregación que pueden utilizarse ya sea para la cross-conexión de tráfico en alto orden o para el manejo de anillos SDH de las capacidades mencionadas.

**M6-1:** Módulo de cross-conexión. Es el módulo principal de conmutación del nodo Tellabs 6350. Provee cross-conexión hasta 640 puertos externos en niveles de alto orden y hasta 128 puertos en bajo orden. Provee la sincronía principal del nodo.

**PSF (Power Supply Filter):** Adicionalmente a las funciones de fuente de poder, tiene las funciones de conmutación entre la fuente de voltaje principal y secundaria; filtrado de las líneas DC para cumplir requerimientos de ruido; mantener un almacenaje de energía para permitir inserción de módulos; protección del subrack de picos de voltaje.

La nomenclatura utilizada para la identificación de los transceivers en SDH, de acuerdo con la recomendación G.957 es la siguiente:

Tabla VIII. Códigos de aplicación para transceivers SDH.

Codigo	Alcance	Capacidad	Ventana	Rango de atenuacion	Distancia
S-1.1	Short Haul	STM-1	1310nm	0-12 dB	0-30 Km
S-4.1	Short Haul	STM-4	1310nm	0-12 dB	0-30 Km
S-16.1	Short Haul	STM-16	1310nm	0-12 dB	0-30 Km
L-1.1	Long Haul	STM-1	1310nm	1-31 dB	25-70 Km
L-1.2	Long Haul	STM-1	1550nm	2-31 dB	40-110 Km
L-4.1	Long Haul	STM-4	1310nm	10-24 dB	25-65 Km
L-4.2	Long Haul	STM-4	1550nm	10-24 dB	40-95 Km
L-16.1	Long Haul	STM-16	1310nm	10-24 dB	30-50 Km
L-16.2	Long Haul	STM-16	1550nm	10-24 dB	40-85 Km

### 3.3.4. Continuidad de servicio

De acuerdo al tipo de protecciones que se han escogido para el proyecto se espera maximizar la continuidad de servicio; tomando en cuenta lo siguiente:

- Continuidad de servicio ofrecida por proveedor de capacidad submarina: 99.99%.
- Puntos de interconexión y rutas protegidas
- Puertos tributarios protegidos.
- Tiempo de conmutación para las protecciones SNCP y MSP por debajo de los 50ms.
- Protección de equipos y energía.

## 3.4. Interconexión de la red SDH internacional con las redes locales.

### 3.4.1. Soporte de redes de distintas capacidades

Típicamente, un multiplexor de acceso parcial únicamente puede acceder y conectar a sus puertos tributarios una porción de su tráfico agregado, siendo el resto de tráfico conectado directamente a través del multiplexor a la señal agregada. Esto explica, que para el caso de los equipos Tellabs 6340 que se están utilizando como ADMs (add and

drop multiplexer), las interfaces tributarias que manejan, sean de menor capacidad que sus agregados. Por ejemplo, un ADM con agregados STM-16 podrá manejar tributarios con capacidades iguales o menores a STM-4 (STM-4, STM-1, DS-3, E1) y la cantidad de tributarios que maneja dependerá de dos factores:

- Capacidad disponible de VC-4s en su matriz de crossconexión
- Capacidad física en el gabinete para alojar las tarjetas necesarias para los tributarios.

La cross-conectividad de los ADMs permite que la función de cross-conexión sea distribuida a lo largo de la red, pero también es posible tener un único equipo cross-conector. Los cross-conectores digitales (DXC) o cross-conectores digitales síncronos (SDXC) son los más complejos y costosos equipamientos SDH. Para este proyecto se han incluido dos equipos cross-conectores Tellabs 6350.

No es la inclusión de bloques con funciones de cross-conexión lo que distingue a los SDXCs de los ADMs, pero la presencia de supervisión de las conexiones en mayor o menor orden si que lo hace. Esto es, la característica distintiva de un SDXC es su capacidad de proporcionar supervisión de las conexiones.

Todos los SDXC proporcionan funcionalidad de cross-conexión y sería inusual implementar un SDXC sin cross-conexión completa entre todas las entradas y salidas. Los SDXCs también incorporan esas funciones de multiplexión y terminación de línea, las cuales son esenciales como interfaz entre la matriz de cross-conexión y el resto de la red.

Hay dos tipos de cross-conectores SDH dedicados, generalmente conocidos como 4/1 SDXCs y 4/4 SDXCs.

4/1 SDXCs puede normalmente aceptar combinaciones de entradas de 2, 155 y 622 Mbps y cross-conectar VC-12s, incluso algunos podrán también cross-conectar VC-2s, VC-3s, y VC-4s. Los cross-conectores 4/1 extraen contenedores virtuales de una variedad de enlaces SDH (principalmente STM-1, STM-4 y STM-16) y los reenruta.

4/4 SDXCs son normalmente diseñados para aceptar entradas de 140, 155, o 622 Mbps y están optimizados para conmutar únicamente VC-4s. Los cross-conectores 4/4 son

componentes de núcleo de red y proporcionan capacidades tales como gestión de ruta de alto nivel y restauración de red.

Los equipos Tellabs 6350 entran en ésta última categoría. En estos casos no existe la limitante de tener tributarios de menor capacidad que los agregados, ya que los SDXCs tienen la capacidad de cross-conectar indistintamente tributarios o agregados y a su vez pueden manejar varios anillos SDH de distintas capacidades, dependiendo del equipamiento con que se les dote.

### 3.4.2. Interconexión ADMs & SDXCs

En el Nap de las Américas se utilizará una configuración tal que el equipo SDXC sea el que reciba la interconexión de la capacidad internacional y la maneje mediante crossconexiones de alto nivel.

El SDXC a su vez tiene como agregado un ADM que se deriva de dos de sus interfaces a nivel STM-16. Una de estas interfaces funcionando como ruta de trabajo y la segunda como ruta de protección.

Todo el tráfico será multiplexado y demultiplexado en el equipo Tellabs 6340, el que tendrá la capacidad de manejar las cross-conexiones de bajo orden y en determinado caso el responsable de llevar a cabo la tributación a interfaces PDH eléctricas.

En el caso del SDXC instalado en Puerto Barrios, no tendrá al ADM como tributario directo de sus interfaces STM-16, pues éstas forman parte de un anillo SDH. El SDXC maneja el anillo STM-16, a través del cual el tráfico internacional es agregado y llevado para interconexión a las redes correspondientes. El equipo Tellabs 6340 instalado en el POP del proveedor de capacidad internacional tiene como objetivo principal la interconexión y enrutamiento de la capacidad hasta el POP de Navega, en donde el SDXC se encargará de cross-conectar el tráfico a nivel de alto orden y será llevado a equipos de menor capacidad que se encargarán de demultiplexarlo y enrutarlo a sus destinos finales.

Esto se puede ver con mayor detalle en las figuras 14 y 15.

### 3.5. Sistemas de gestión de equipos

#### *Tellabs 6300 Network Manager*

Los nodos Tellabs 63xx son gestionados desde el “Tellabs 6300 Network Manager”, el cual provee una plataforma integrada para gestión de elementos y redes que cumple con el Modelo de Gestión de Redes de Telecomunicaciones de la UIT.

Este sistema provee una gestión centralizada de la red desde estaciones de trabajo en cualquier centro de operaciones. Adicionalmente se tiene una Craft Terminal para instalación local, comisionamiento y servicio de elementos de red individuales. Para facilitar la comunicación óptima entre técnicos de campo y personal del centro de gestión, se utiliza una interfaz común de usuario en ambos (centro de gestión y Craft Terminal portátil).

La craft Terminal (CT) es un software que se ejecuta en una PC o computadora portátil (laptop). Es utilizado para la configuración de hardware Tellabs 63xx durante la instalación o situaciones de falla.

Es utilizado para la configuración de un elemento de red (NE) a la vez usando una conexión serial directa (local o remota) o vía LAN.

Todas las operaciones hechas desde el Craft Terminal local pueden ser también llevadas a cabo desde el Network Manager. Es posible, por ejemplo, comisionar un elemento de red desde ambos sistemas.

Existen tres tipos de Craft Terminal:

6300 Craft Terminal

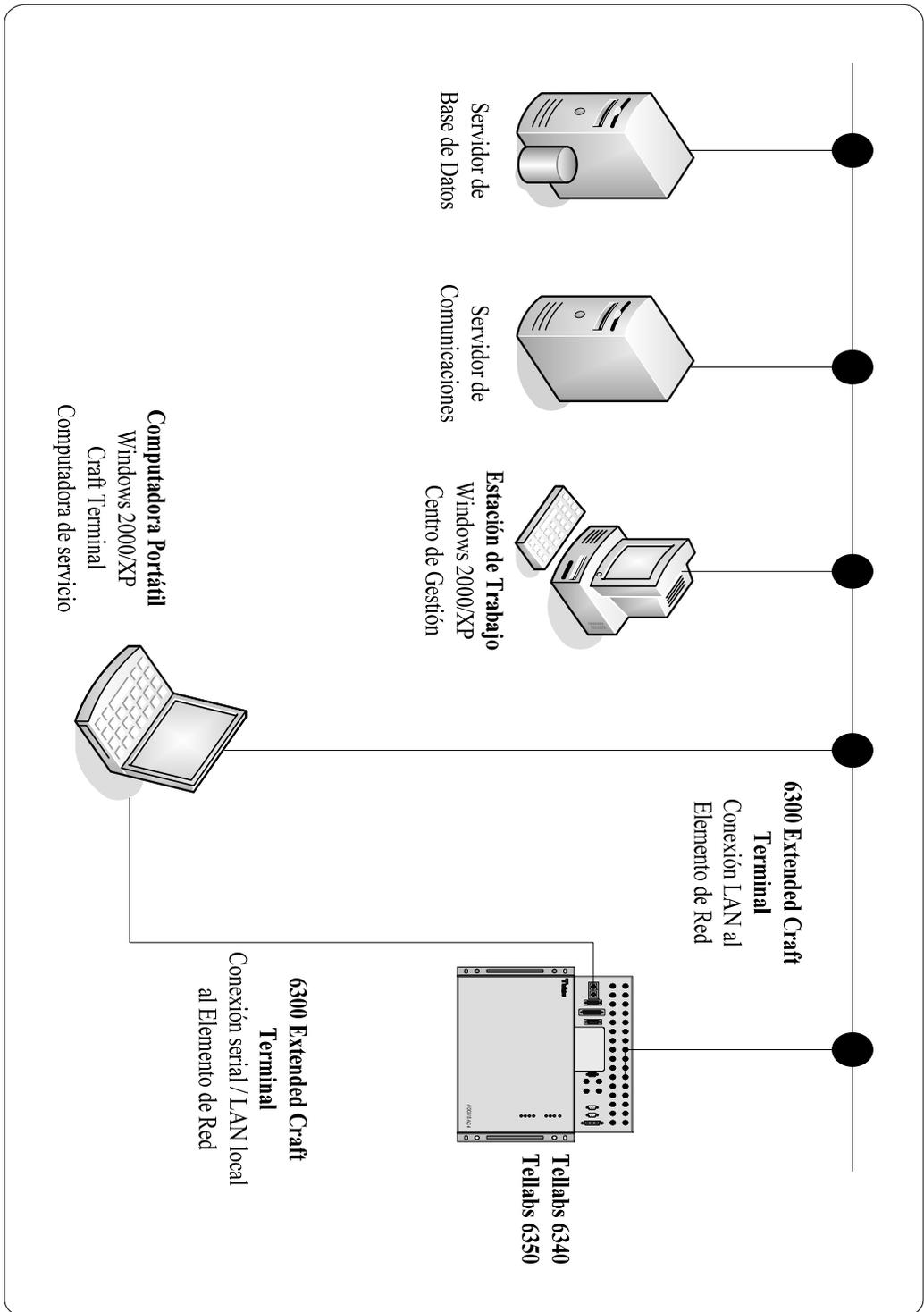
6300 Extended Craft Terminal

NM2100 Craft Terminal

Para conexión a los elementos de red descritos en este proyecto se utilizará únicamente la 6300 Extended Craft Terminal.

Un diagrama esquemático del sistema de gestión se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Arquitectura del sistema de gestión Tellabs 6300 Network Manager.



El sistema de gestión Tellabs 6300 Network Manager está integrado en la plataforma Tellabs 8100, mediante la cual se pueden realizar comisionamiento de elementos de red, agregación de hardware, creación de troncales de distintos tipos y capacidades, creación de circuitos SDH de distintas capas, creación de circuitos PDH de distintos tipos. Todo esto dentro de un sistema gráfico orientado al manejo integrado de la red.

Algunos de los bloques manejados por el sistema de gestión Tellabs 8100 son:

Edición de red

Gestión de nodos

Enrutamiento de circuitos

Pruebas de circuitos

Gestión de fallas

Gestión del desempeño de la red

Recuperación en caso de desastre

Cabe mencionar que para poder gestionar los equipos instalados en el Nap de las Américas se han construido un circuito por la red PDH y otro por la red IP (uno como redundancia del otro), mediante los cuales se integran los nodos a la red de gestión de equipos Tellabs en Navega Guatemala.

## 4. DETALLES TÉCNICOS DEL DISEÑO FINAL

### 4.1. Descripción del diseño alcanzado

#### 4.1.1. Redes

Inicialmente se desea montar una capacidad internacional equivalente a 1xSTM-1 entre los POPs de Navega en Puerto Barrios, Guatemala y el Nap de las Américas, Miami, Florida, USA.

Preparando el esquema para futuro crecimiento se utilizarán interfaces STM-4 en los sitios mencionados, como interconexión entre el proveedor y Navega. Dichas interconexiones tomarán lugar en el Nap de las Américas y el POP del proveedor de cable submarino en Puerto Barrios, Guatemala.

El tramo desde la estación de cable submarino hacia el POP de Navega (en cualquiera de ambos sitios) es denominado backhaul y está definido por la UIT como la red de retroceso asociada a un sistema de comunicaciones.

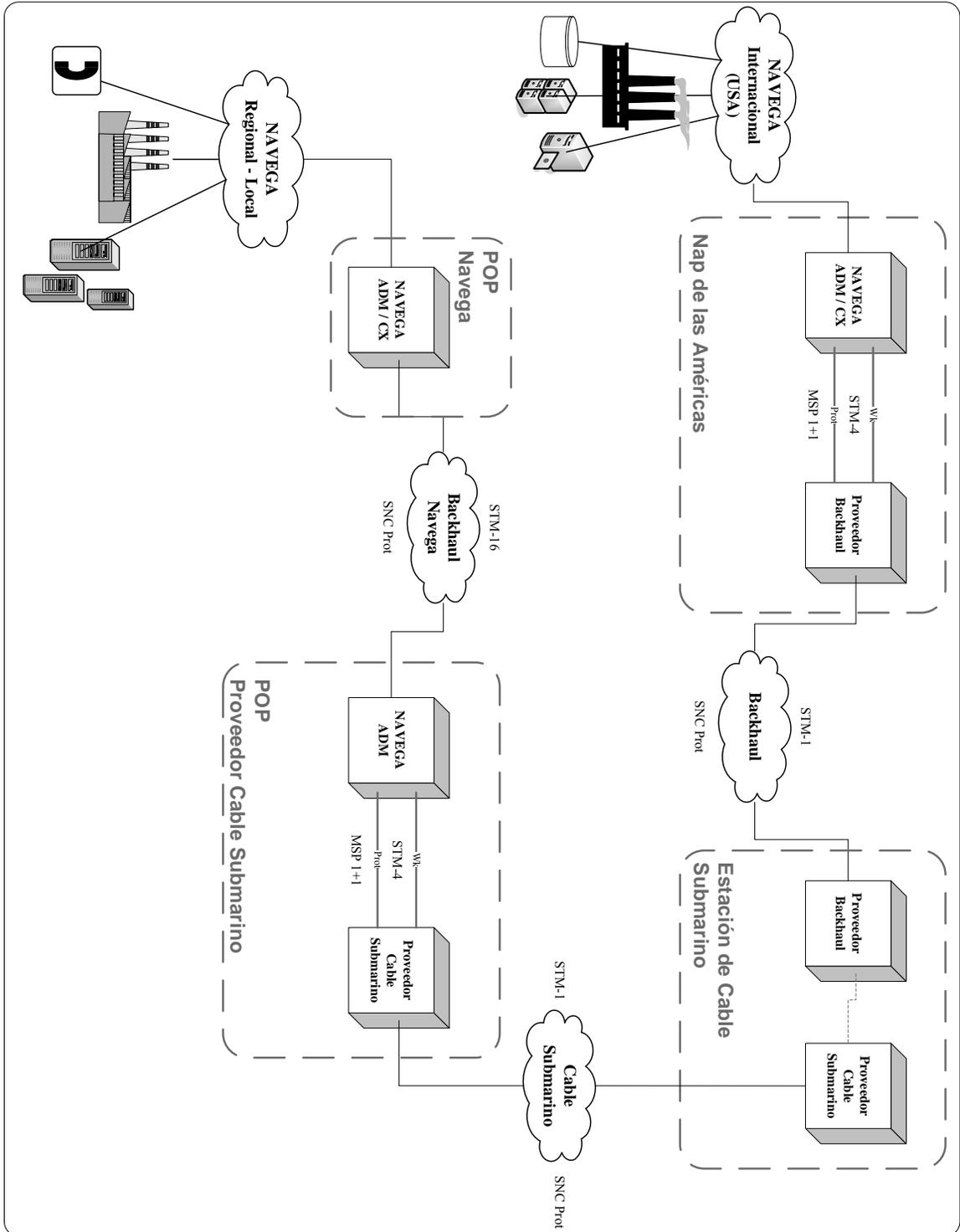
Dicho backhaul en Estados Unidos pertenece a una empresa contratada por el proveedor de capacidad submarina, por lo que se desconocen los detalles de la red. No obstante, se sabe que la capacidad contratada es de 1xSTM-1; misma que se encuentra alojada en una red SDH anillada con protección SNCP.

El backhaul en Guatemala, por el cual se lleva la transmisión desde el POP del proveedor de capacidad submarina hasta el POP de Navega, ambos en Puerto Barrios, Izabal, Guatemala; pertenece a la red propiedad de Navega. Se trata de un anillo SDH que une al mencionado POP y algunos otros sitios por medio de fibra óptica; con capacidad STM-16, con el POP principal de interconexión de tráfico internacional de Navega en Puerto Barrios, Izabal. En éste último se interconectan las redes de otros proveedores de capacidad internacional, se tiene el acceso a la red SDH local de Navega Guatemala y además se agrupan las interconexiones hacia Honduras, Nicaragua, Costa

Rica, Panamá y El Salvador (vía Guatemala y Honduras). Para este caso, ya que la interconexión a nivel STM-4 se realiza en el POP del proveedor de capacidad submarina, no se tienen puntos de tributación intermedios, pues toda la capacidad se interna en las redes correspondientes por la trama SDH sin necesidad de ser demultiplexada en ningún punto que no sea el de su destino final.

En la Figura 12 se muestra el diagrama general de lo anteriormente descrito.

Figura 12. Diagrama general de la red esperada.



El proveedor de capacidad submarina escogido para este proyecto cuenta con la red más grande a nivel latinoamericano en términos de geografía, capacidad, servicios y presencia con 450 POPs en Europa y 200 en América. Parte de sus capacidades incluyen:

Conectividad de Fibra Óptica 192 OC192s (OC-192 = 9.953 Gbit/s)

40 GBps activos en uno de sus cables submarinos a nivel latinoamericano

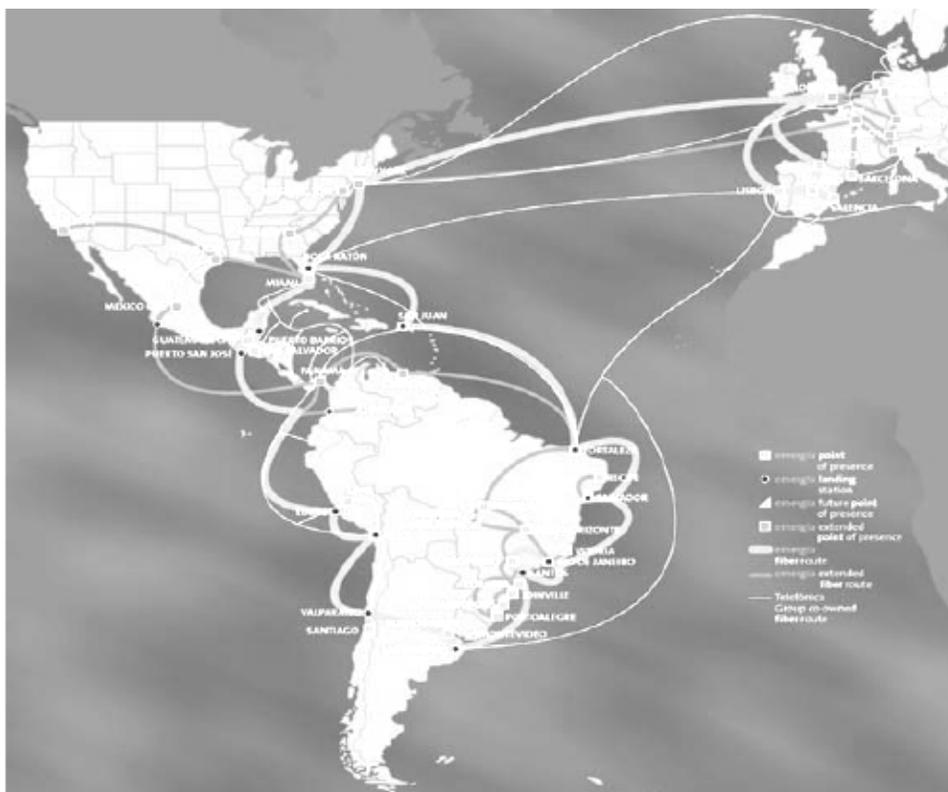
Capacidad de crecimiento hasta 1.92 TBps en el cable submarino mencionado

Capacidad transatlántica por encima de los 10 GBps

Múltiples acuerdos de peering con los principales proveedores

La Figura 13 muestra un diagrama esquemático de la cobertura del proveedor de capacidad submarina.

Figura 13. Diagrama de cobertura del proveedor de capacidad submarina.



La interconexión en el Nap de las Américas se llevará a cabo entre Navega y el proveedor de capacidad de backhaul en USA.

En el POP de Navega se utilizará un equipo Tellabs 6350 (descrito en el apartado 3.3.3 de este documento), con dos interfaces tributarias STM-4 distribuidas en tarjetas distintas. Cada interfaz estará dotada de transceivers STM-4 Short Haul.

La primer interfaz tributaria STM-4 la denominaremos interfaz de trabajo o primaria, a la cual se conectará el par de hilos de fibra óptica que llevará la transmisión activa (hilos de trabajo) de la capacidad. Esta interfaz se configura en el equipo Tellabs 6350 como principal, sobre la cual se construirá una troncal STM-N.

La segunda interfaz STM-4 se denomina de protección o secundaria; su función principal es alojar todo el tráfico que se encuentre activo en la interfaz primaria al momento de detectarse una falla en ésta. Para que la mencionada protección funcione debe asociarse la interfaz secundaria con la primaria en el equipo Tellabs 6350 e indicarse que se utilizará el esquema de protección MSP 1+1.

Todo el trabajo de configuración de hardware se realiza local o remotamente mediante el software Tellabs Extended Craft Terminal.

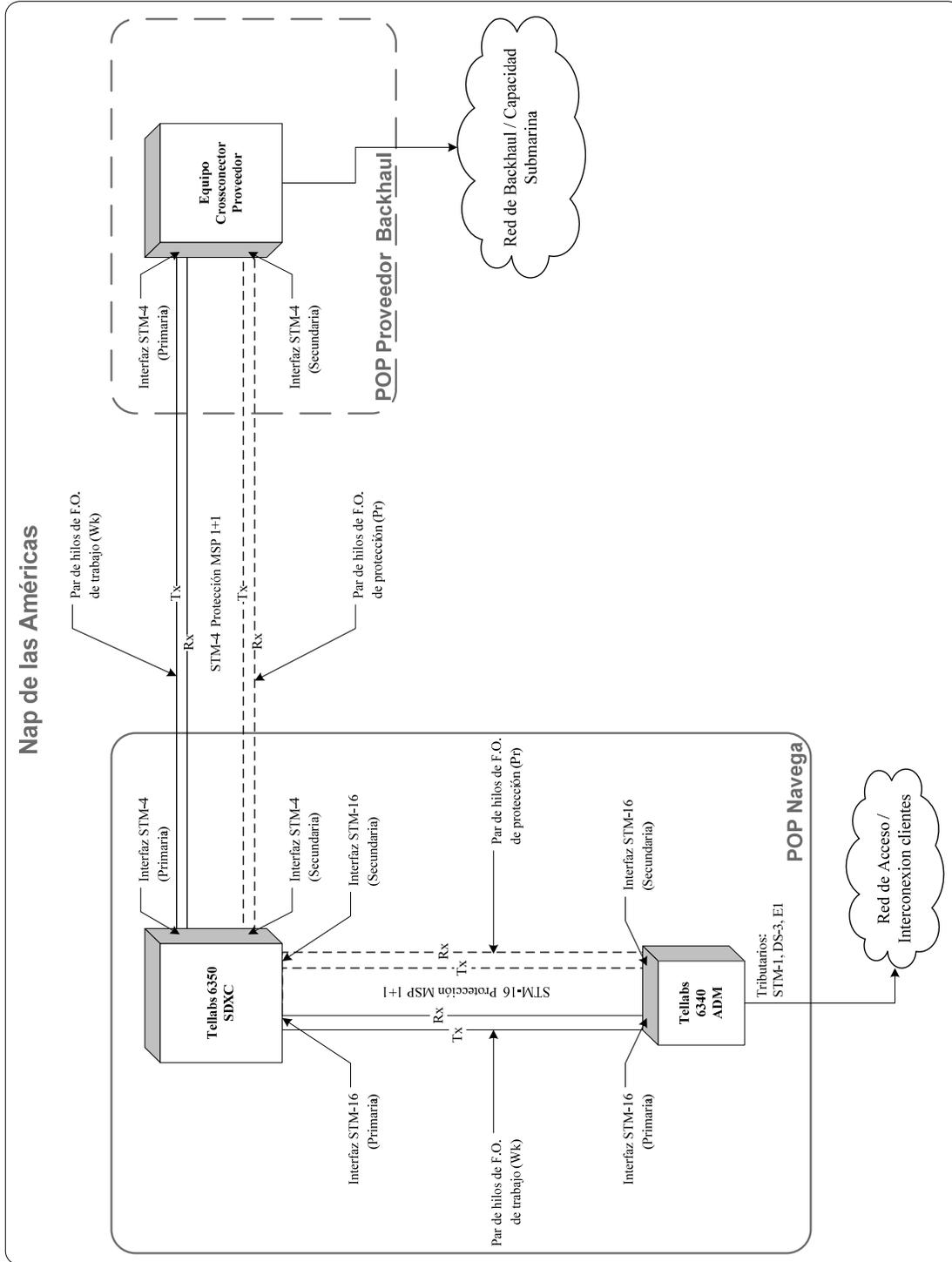
Cuando la configuración del hardware esté correctamente terminada, la protección funcionará automáticamente; lo cual implica que en un evento de falla, el tráfico conmutará automáticamente de una interfaz a otra en un período menor a 50 ms, por lo que los servicios no se verán afectados.

Es necesario mencionar que el equipo del lado del proveedor de backhaul debe tener la misma configuración de protecciones, no importando el fabricante; siempre que este maneje las normas aceptadas por UIT-T para transmisiones SDH.

El mismo esquema se sigue para la interconexión del equipo crossconector Tellabs 6350 y su nodo principal ADM Tellabs 6340; utilizando igualmente el esquema de protecciones MSP 1+1, pero con capacidad STM-16.

Las configuraciones descritas anteriormente se detallan de manera gráfica en la Figura 14.

Figura 14. Diagrama de interconexión Navega-Proveedor en el Nap de las Américas.



La interconexión en Puerto Barrios, Izabal, Guatemala; se lleva a cabo en el POP del proveedor de capacidad submarina, en donde Navega tiene co-ubicación de equipos de comunicaciones SDH.

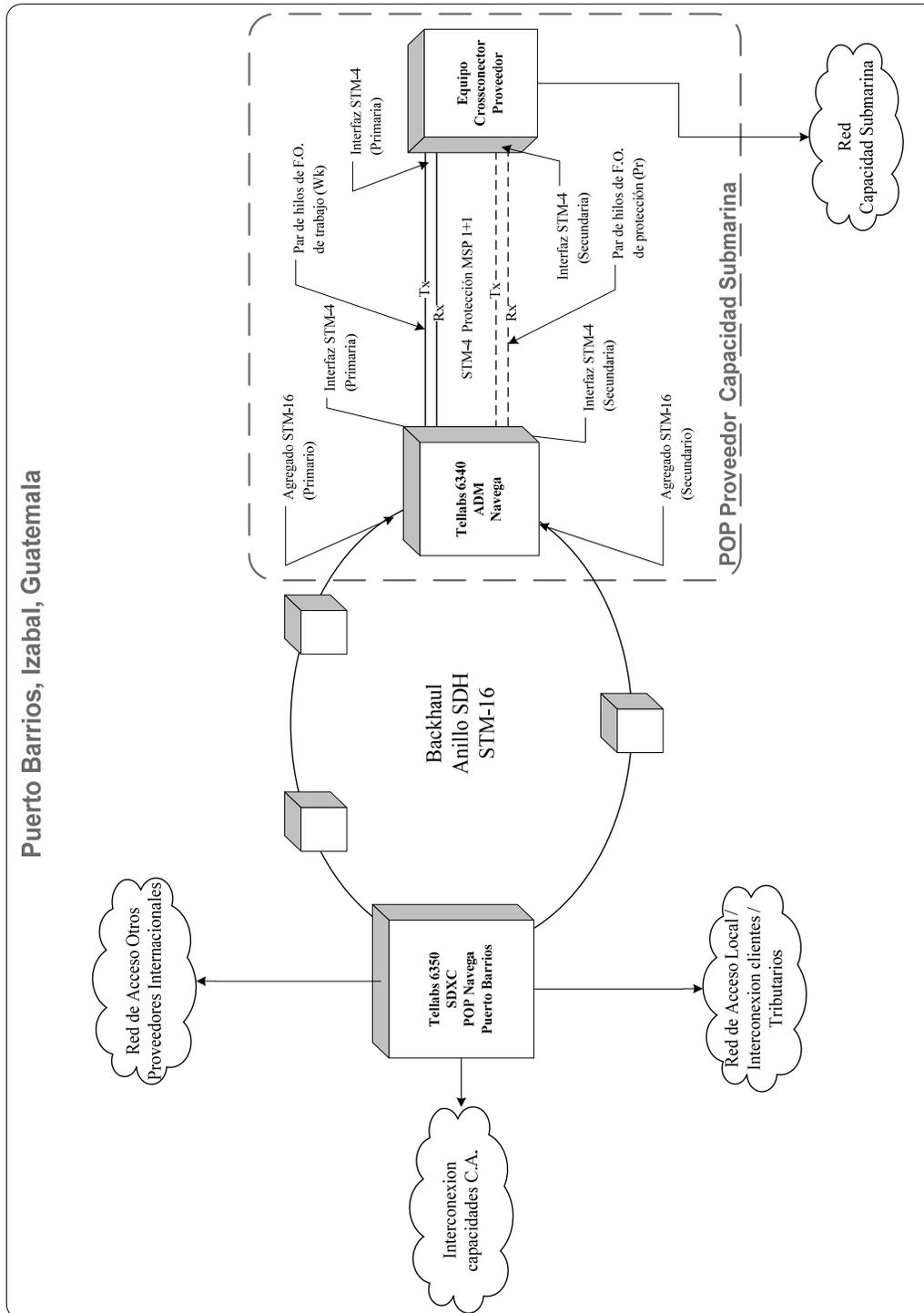
En este caso se utiliza un equipo ADM con dos interfaces STM-4 disponibles, utilizando transceivers STM-4 short haul.

Las interfaces se configuran como primaria y secundaria, asociándolas una a la otra como principal y protección. Conectándose de manera equivalente a los equipos SDH del proveedor a través de dos pares de hilos de fibra óptica.

Se configura protección MSP 1+1 definiendo en conjunto con el proveedor cual será el par de hilos que maneje el tráfico activo, así como los parámetros adecuados para que la protección automática funcione correctamente en el evento de una falla. Nuevamente la protección en este caso conmutará el tráfico hacia el circuito de protección en un lapso menor a 50 ms.

A diferencia del esquema del Nap de las Américas, en donde la capacidad se conecta directamente al equipo crossconector que luego lo enviará a un equipo tributario; en este caso se conecta a un equipo ADM, perteneciente a un anillo SDH que llevará la transmisión hasta el sitio principal de Navega en Puerto Barrios a través de sus agregados. En el POP de Navega PBA el tráfico podrá ser crossconectado hacia su destino final, dependiendo si este se trata de la red local en Guatemala, Centro América o algún otro destino a través de otra capacidad internacional. La Figura 15 muestra en detalle la interconexión en el POP del proveedor de capacidad submarina, su interconexión por medio del backhaul STM-16 hacia el POP de Navega.

Figura 15. Diagrama de interconexión Navega-Proveedor en el Nap de las Américas.

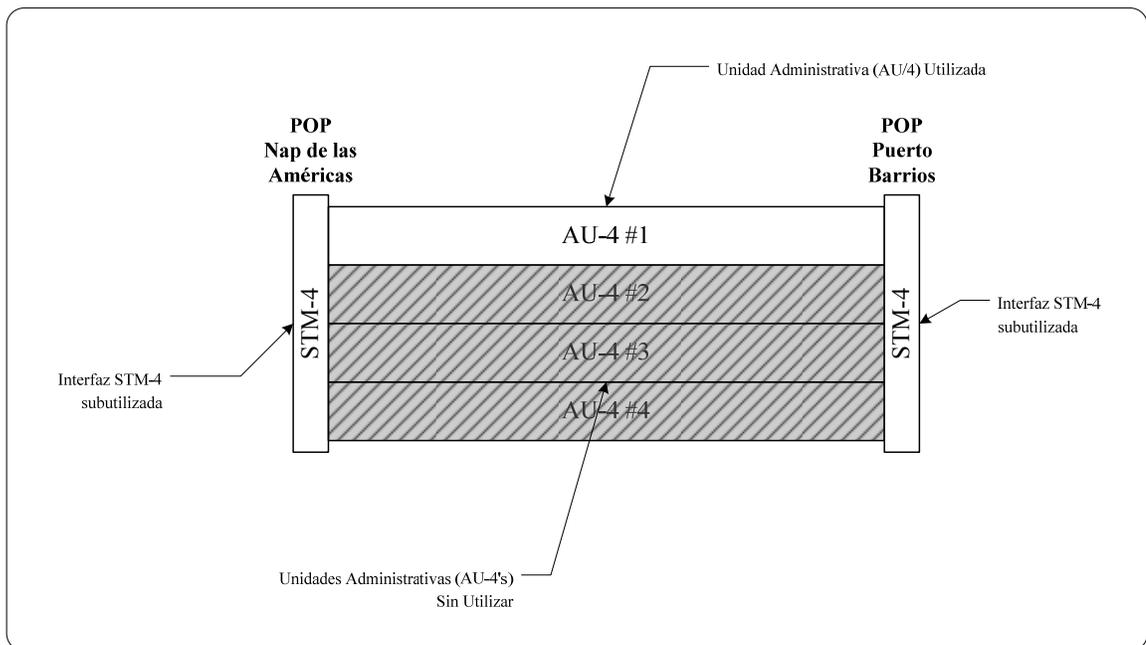


En ambos casos, la interconexión STM-4 se realiza como predisposición a futuro crecimiento de la red; pues en realidad, la capacidad de la cual podría disponerse es únicamente de 1xSTM-1. Ya que se trata de un STM-4 subutilizado, se ha definido en conjunto con el proveedor utilizar la primer AU-4 en ambos extremos de la interconexión. Una vez habilitada la unidad administrativa correspondiente (AU-4) en ambos sitios, se procede a configurar el contenedor virtual VC-4, sobre el cual se levantarán las troncales y circuitos con capacidades E1, DS3 según sea la necesidad de la red en su momento.

El hecho de utilizar este tipo de configuración de interfaces subutilizadas en los extremos del enlace, permitirá que para futuras ampliaciones de capacidad, éstas se puedan realizar únicamente habilitando la o las siguientes AU-4s correspondientes, sin necesidad de realizar trabajos de interconexión.

El panorama en cuestión se puede apreciar mas claramente en la Figura 16.

Figura 16. Esquema de STM-4 subutilizado, con 1xAU-4 habilitado únicamente.



Vale la pena mencionar que se puede utilizar cualquier unidad administrativa AU-4 en el enlace. La AU-4 que se utilice en el extremo A no necesariamente debe concordar con la utilizada en el extremo Z. La concordancia que es imprescindible es entre el proveedor y Navega en el sitio en cuestión. Por ejemplo, pudo haberse utilizado la AU-4 #1 en el Nap de las Américas y la AU-4 #3 en el POP del proveedor en Puerto Barrios, siempre que en cada sitio concuerden las AU-4's de interconexión entre el proveedor y Navega; la transmisión funcionará correctamente. Básicamente se utilizará el esquema de correspondencia de AU-4's en ambos sitios para evitar posibles confusiones a los operadores menos experimentados.

#### 4.1.2. Configuración de equipos

##### *Equipos en el Nap de las Américas*

El detalle de los equipos que a continuación se mencionan aparece esquematizado en la Figura 17. Se configurará el equipo Tellabs 6350 como un cross-conector SDXC. Equipado con dos módulos de energía, cada uno tomando su voltaje de fuentes DC -48V distintas. Esto con el hecho de soportar redundancia en caso de falla de una de las fuentes de energía. El módulo de control CMCC ubicado en el slot 14 del nodo, por diseño del fabricante no puede dotarse de un módulo equivalente de protección; esto se debe principalmente a que puede trabajarse sobre dicho módulo (realizar actualizaciones de software, reinicializarlo e incluso cambiarlo) sin que exista afectación de tráfico, siempre que el estatus del subrack permanezca inalterado.

El módulo de cross-conexión M6-1 ubicado en el slot 7 estará protegido por su equivalente ubicado en el slot 8 del nodo. Toda la información de cross-conexiones manejada por el módulo M6-1 de trabajo es almacenada en el módulo de protección; el cual permanece en espera de un evento de falla en el módulo principal o una conmutación manual en caso de mantenimiento o servicio del nodo.

El módulo SIM4 ubicado en el slot 1 del SDXC es el encargado de recibir la interconexión STM-4 proveniente del proveedor de capacidad internacional en el Nap de las Américas. Los transceivers que utiliza son del tipo S-4.1 (Short Haul, STM-4, 1310nm), conectores LC hembra. En el slot 2 del SDXC se encuentra un módulo SIM4 con las mismas características del anterior. Este último tiene el propósito de proteger al módulo principal, por lo que se encuentra conectado con su peer equivalente en el extremo del proveedor. Para ambos casos se utilizan conexiones de fibra óptica monomodo, aunque se trate de distancias cortas. Los patchcords utilizados para la interconexión son del tipo LC-SC, donde el extremo LC se conecta a los equipos y el extremo SC al panel ODF de interconexión.

El esquema de protección que se maneja entre las interfaces STM-4 de los slots 1 y 2, es del tipo MSP 1+1 bidireccional; lo cual implica que las dos líneas de una interfaz (Rx y Tx) serán conmutadas a la protección cuando se detecte una falla. Además se elige el modo de operación no reversible, lo que implica que no habrá re-selección automática de la MS (sección de multiplexión) de trabajo. Cuando el circuito conmute a la interfaz de protección, se quedará trabajando en ésta indefinidamente; convirtiéndose en una ruta de trabajo (para este tipo de protección no hay diferencia sustancial entre la MS de trabajo y la de protección) hasta que se detecte un nuevo evento de falla, se detecte una calidad menor a la de la ruta stand by, se reciba un comando externo o se revierta el tráfico manualmente. Esta última elección se hace para evitar que el equipo intente revertirse a su ruta de trabajo después del tiempo configurado (wait to restore) y pueda ser que aún esté el circuito en proceso de reparación.

Para finalizar la interconexión en este caso se debe realizar una adaptación de alto orden HOA (High Order Adaptation), la cual nos ayudará a relacionar la primer AU-4 Unframed SUAP de la interfaz MUAP STM-4 con un VC-4 interno del equipo, el cual servirá para recibir el tráfico de menor orden. Esta HOA se realiza a nivel de circuito, mientras que la protección MSP 1+1 se realiza a nivel de hardware.

Los módulos SIM16 del SDXC instalados en los slots 9 y 10 servirán para derivar el nodo principal ADM (Tellabs 6340). En el equipo Tellabs 6340 se utilizarán módulos

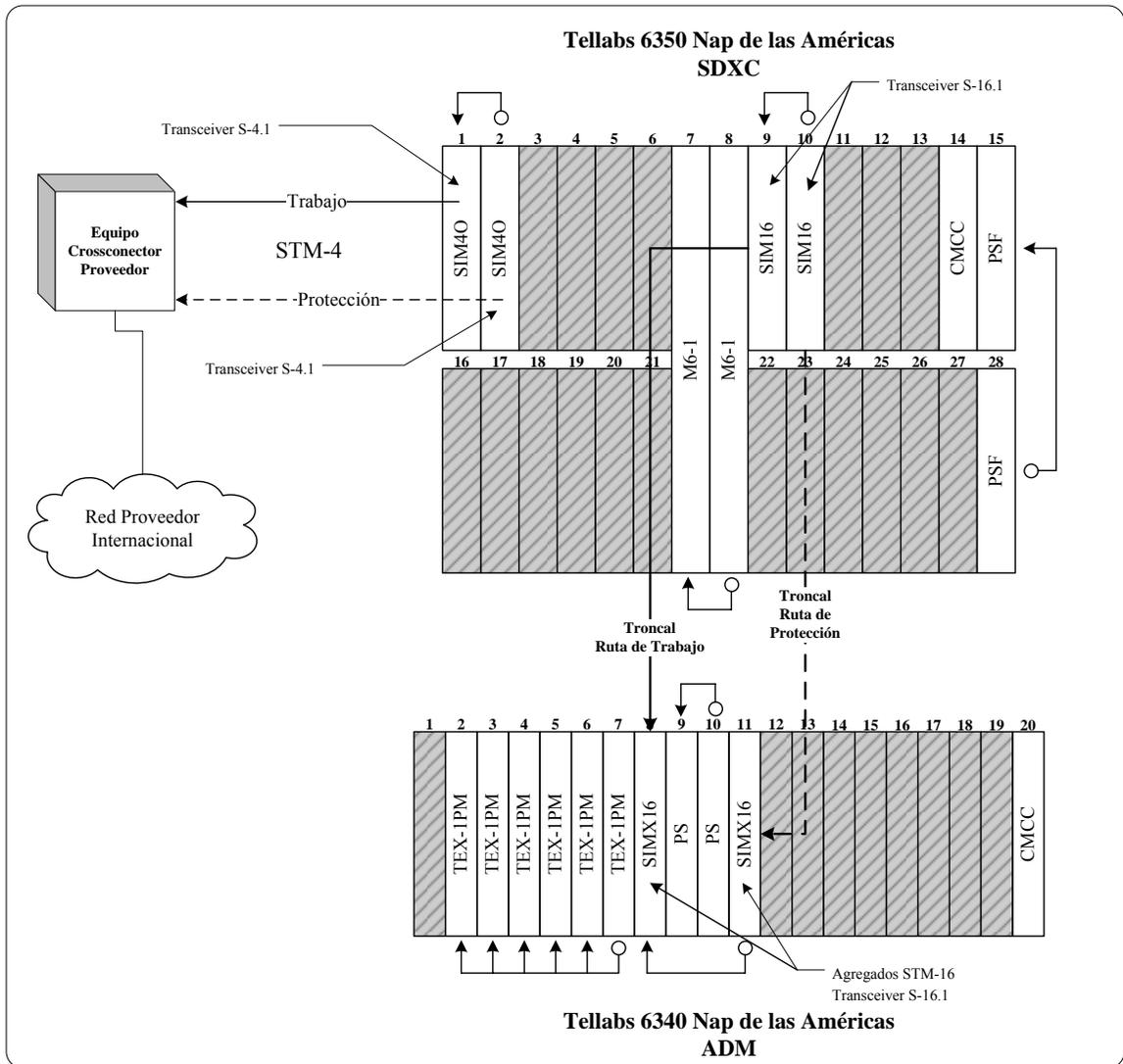
SIMX16, instalados en las unidades 8 y 11 del nodo, que servirán como agregados del ADM. Ambos tipos de módulo utilizan interfaces STM-16 con transceivers S-16.1 (Short Haul, STM-16, 1310nm). Patchcords del tipo LC-LC de fibra óptica monomodo son utilizados para interconectar los equipos Tellabs 6340 y 6350.

En este caso se levanta una troncal STM-16 entre ambos nodos, utilizando como ruta principal la conexión entre las interfaces SDXC/Slot 9 → ADM/Slot 8 y como ruta de protección SDXC/Slot 10 → ADM/Slot 11. Luego de realizada la troncal entre las interfaces principales, se declaran a nivel de base de datos y hardware las interfaces secundarias como protección. Finalizado el procedimiento anterior se tiene una troncal protegida entre los nodos SDXC y ADM.

El icono  en la Figura 17 significa que el módulo con el círculo está protegiendo al (los) módulo (s) con la flecha.

Enfocándonos ahora en el equipo ADM, adicionalmente a las protecciones mencionadas en párrafos anteriores relacionadas con los módulos de agregación; podemos ver que posee dos módulos de energía (PS) en las unidades 9 y 10. Dichos módulos funcionan compartiendo la mitad de la carga del nodo, para que en caso de una falla de alguna de las fuentes de energía DC, el módulo que permanece activo (con energía) pueda soportar toda la carga del equipo y con esto se eviten interrupciones de tráfico.

Figura 17. Configuración de equipos a instalar en el Nap de las Américas.



Observemos ahora los módulos 2 al 7. Se trata de interfaces tributarias para Els eléctricos, a través de las cuales se entregan servicios de baja capacidad y se levantan troncales de 2 Mbps para enrutar servicios PDH de capacidades  $n \times 64$  Kbps. Para estos módulos se está utilizando un esquema de protección 1:n; en el que el módulo del slot 7 se mantiene en stand by (sin tráfico activo) en espera de que suceda una falla en los módulos 2, 3, 4, 5 ó 6. El módulo 7 es capaz de proteger únicamente a uno de los

módulos anteriormente mencionados; si más de un módulo deja de funcionar en el mismo período de tiempo, la protección únicamente funcionará con uno de ellos (el que haya fallado primero). El mismo esquema de protección 1:n se utiliza para interfaces eléctricas de 34 Mbps, 45 Mbps y STM-1.

Vale la pena mencionar que en los diagramas mostrados en las Figuras 17 y 18, aparecen algunos módulos en color gris con líneas transversales. Esto se debe a que se trata de módulos que no interesan para los efectos de este proyecto, por lo que se ha elegido no mostrarlos en detalle para mantener la confidencialidad de las comunicaciones de la empresa Navega.

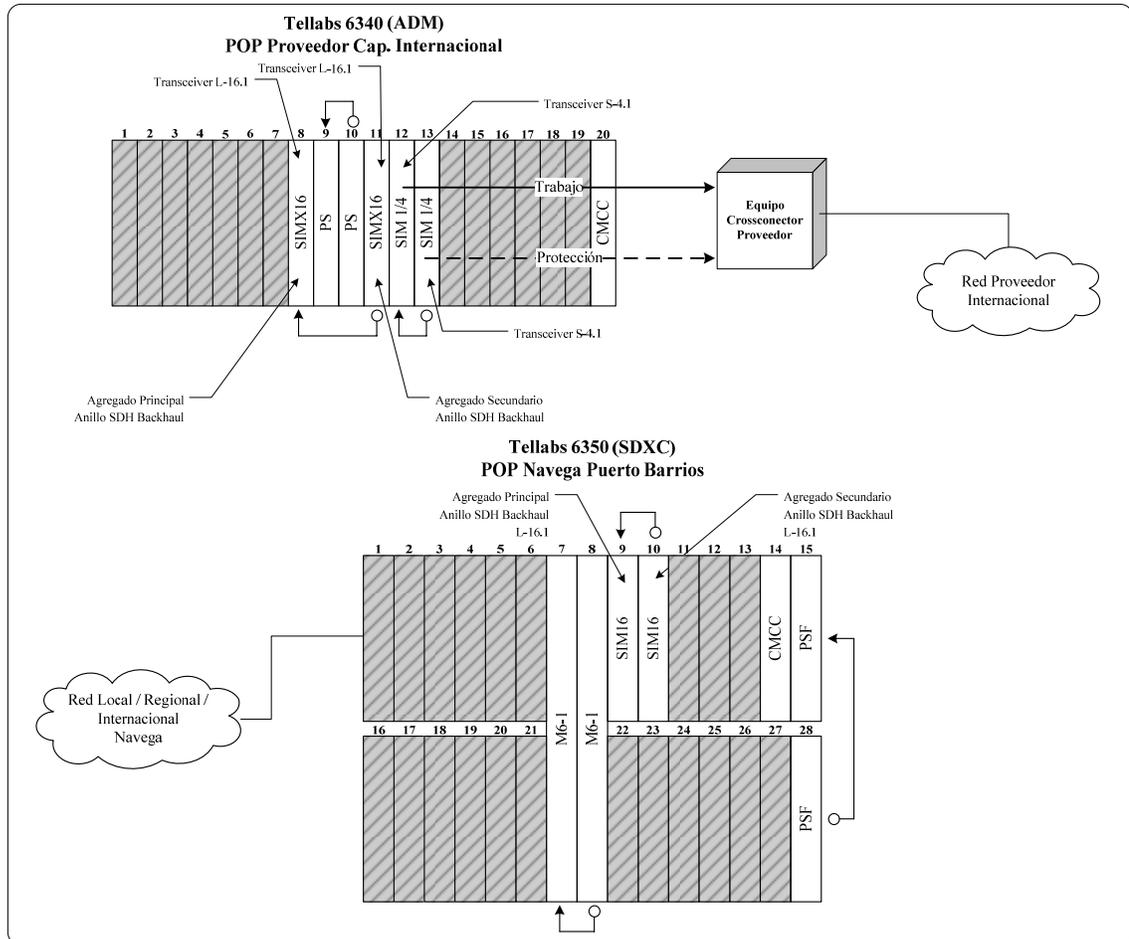
### ***Equipos en Puerto Barrios***

El nodo que se instalará en el POP del proveedor de capacidad internacional en Puerto Barrios es un Tellabs 6340 configurado como ADM (ver Figura 18). Consta de un módulo controlador CMCC, dos módulos de suplemento de energía PS, dos módulos SIM ¼ y dos módulos de cross-conexión / agregación SIMX 16.

El módulo SIM ¼ instalado en la unidad 12 del nodo servirá para realizar la interconexión con el proveedor de capacidad submarina. Está dotados de una interfaz STM-4 con transceiver S-4.1 (Short Haul, STM-4, 1310 nm) con conectores LC hembra. De igual manera que en caso de interconexión en el Nap de las Américas, se tiene un módulo SIM ¼ instalado en la unidad 13 del nodo, que funciona como protección del instalado en la unidad 12. El esquema de protección que se manejará es MSP 1+1, no reversible. Notar en la Figura 18 el icono  que implica que los módulos con el círculo protegen a los módulos indicados con la flecha. Los patchcords de fibra óptica monomodo que se utilizan entre el ADM y el ODF de interconexión tienen conectores LC-FC en sus extremos.

Los módulos SIMX 16 instalados en las unidades 8 y 11 del ADM funcionan a su vez como agregados, ya que este nodo formará parte de un anillo SDH que llevará la transmisión por el backhaul hasta el POP principal de Navega en Puerto Barrios.

Figura 18. Configuración de equipos a instalar en Puerto Barrios.



Ya que el nodo tiene funcionalidad dentro de un anillo SDH, se escoge un esquema de protección SNC para la conmutación de los agregados en caso de falla. En este caso se construyen troncales STM-16 desde los agregados hasta sus nodos adyacentes, hasta llegar a los módulos SIM16 instalados en las unidades 9 y 10 del SDXC; a través de las cuales se levantarán troncales VC-4 entre el ADM y el SDXC, cuya ruta principal será la más corta en retardo y su ruta de protección se hará por el camino restante para completar el anillo.

El tráfico internacional derivado del módulo STM-4 en el ADM del POP del proveedor, viajará a través de las troncales VC-4 del anillo de backhaul hasta llegar al SDXC

instalado en el POP de Navega en Puerto Barrios. En dicho POP, el SDXC tiene la tarea de discriminar el tráfico, de acuerdo a sus rutas asociadas y enviarlo a través de sus troncales existentes hacia su próximo destino, sea este un nodo perteneciente a la red local / centroamericana de Navega u otra capacidad internacional hacia algún otro lugar.

#### 4.1.3. Materiales

Adicionalmente a los equipos de telecomunicaciones descritos en la sección anterior; para poder llevar a cabo una exitosa interconexión, en ambos sitios se debe contar con los siguientes materiales:

Racks ETSI para montaje de equipos Tellabs 6350

Racks de 19” para montaje de equipos Tellabs 6340

Patch cords de fibra óptica, conectores SC-LC

Patch cords de fibra óptica, conectores FC-LC

Paneles de distribución de fibra óptica

Inserts SC para paneles de fibra óptica

Inserts FC para paneles de fibra óptica

#### 4.2. Sincronismo de las redes

La recomendación UIT-T G.803 menciona que es posible utilizar dos métodos fundamentales para la sincronización de relojes de nodos: sincronización maestro – esclavo y sincronización mutua. Sin embargo, solo la sincronización maestro – esclavo se acepta como apropiada para la sincronía de redes SDH y se recomienda para la arquitectura estándar.

Se utilizará una distribución de sincronía inter-nodal, la cual sigue una topología de árbol. Para el correcto funcionamiento de esta distribución en la red de sincronismo, los relojes pueden ser sincronizados únicamente por relojes del mismo nivel jerárquico o superior, aún en condiciones de falla.

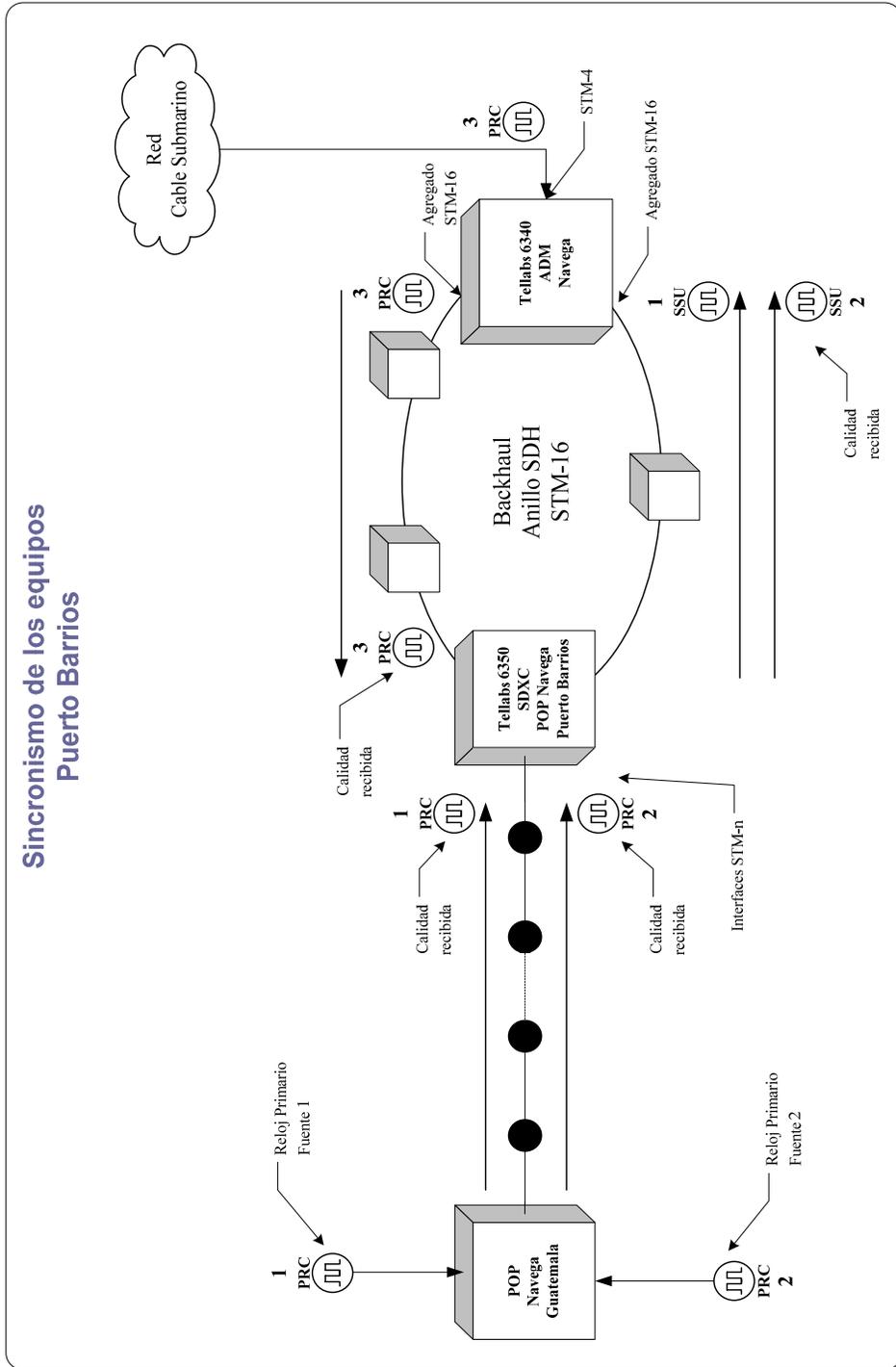
Se utilizarán dos fuentes de sincronismo primario estrato 1, en uno de los sitios principales de la red de Navega. La señal de reloj en este sitio será PRC. Dicha señal viaja a través de la red local SDH y por razones obvias, la calidad del pulso de reloj decaerá de sitio en sitio.

Dicha señal puede llegar a ser de nivel SSU (estrato 2), la cual aún es una calidad totalmente aceptable; pero en un caso extremo podría llegar a una calidad tan baja que se habilite la bandera de DNU (do not use) en los equipos y éstos la desechen automáticamente en búsqueda de una fuente de reloj de mejor calidad o inclusive se coloquen en modo de holdover.

Los equipos SDH, tienen la capacidad de detectar la calidad de reloj que están recibiendo; no importando si es una fuente externa, un puerto tributario o un agregado STM-n.

Para el caso de nuestro diseño, la cantidad de nodos intermedios que generan reloj SEC a la red de sincronismo es mínima; por lo que, aún esperándose recibir una calidad de reloj SSU en el SDXC de Puerto Barrios, la señal es recibida con calidad PRC.

Figura 19. Consideraciones de la red de sincronismo en Puerto Barrios.



Los niveles de calidad de reloj que operan los equipos Tellabs están de acuerdo a las recomendaciones de UIT-T y se pueden observar en la Tabla IX.

Tabla IX. Niveles de calidad de reloj aceptados por equipo Tellabs.

Tipo de Reloj	Descripción		Nivel de Calidad	
	UIT	ETSI		
Reloj de Referencia Primaria	G.811	QL - PRC	Nivel 1: +/- $1 \times 10^{-11}$	La más alta
Reloj Esclavo (Nodo de tránsito)	G.812 Transit	QL - SSUT (SSU-A)	Nivel 2: +/- $1 \times 10^{-9}$	-
Reloj Esclavo (Nodo Local)	G.812 Local	QL - SSUL (SSU-B)	Nivel 1: +/- $2 \times 10^{-8}$	-
Reloj de Equipo SDH (SETS)	Interno G.813	QL - SEC	SEC: +/- $4.6 \times 10^{-6}$	-
Do not use (no usar)	AIS	QL - DNU	-	La más baja

En la Figura 19, se puede observar que las dos fuentes primarias de sincronismo que recibe el nodo SDXC de Puerto Barrios desde la red local de Navega están llegando a través de interfaces STM-n; no obstante, la calidad recibida aún es detectada como PRC.

Las fuentes de sincronismo del SDXC estarían configuradas de la siguiente manera:

ACTIVA: Fuente primaria 1 (red Navega) calidad PRC.

STAND BY: Fuente primaria 2 (red Navega) calidad PRC.

STAND BY: Fuente de sincronía 3 (red de Cable Submarino) calidad PRC

Puede observarse que el nodo SDXC posee tres fuentes distintas de sincronismo, calidad PRC; una de ellas funcionando a la vez. Es un diseño de sincronismo bastante robusto, pues deberían fallar las 3 fuentes para que el nodo pudiera quedar sin señal de sincronía.

El ADM en el POP del proveedor está recibiendo una señal de sincronismo de calidad PRC a través de la interfaz STM-4 que se utiliza para interconexión del tráfico internacional.

En este último caso, para evitar loops de sincronismo y deslizamientos en la transmisión internacional, se configura el nodo de tal manera que sus fuentes de sincronismo son:

ACTIVA: Fuente de sincronía 3 (red de Cable Submarino) calidad PRC

STAND BY: Fuente primaria 1 (red Navega) calidad SSU.

STAND BY: Fuente primaria 2 (red Navega) calidad SSU.

El esquema de sincronismo para los equipos SDXC y ADM instalados en el Nap de las Américas es bastante sencillo; pues al encontrarse aislados de las redes locales y regionales de Navega, se toman como referencia los relojes PRC recibidos de los proveedores de capacidad internacional.

#### SDXC

Tres fuentes independientes de relojes, tomados de interconexiones STM-n, cuya calidad recibida es PRC. Una de estas fuentes es la obtenida en la interfaz STM-4 utilizada para este proyecto. Solo una de estas fuentes se configura como activa, mientras que las dos restantes se configuran como stand by.

#### ADM

El equipo ADM tomará su fuente de reloj del SDXC, a través de los módulos agregados STM-16 que los unen. La calidad recibida es también PRC.

### 4.3. Pruebas a realizar

#### 4.3.1. Pruebas de transmisión

##### ***Conexión Física***

En este nivel se comprueba que todas las conexiones físicas de patchcords de fibra óptica estén debidamente acopladas, que no existan alarmas de transmisión en los

equipos; ya que de tenerse algún problema en estos elementos, la transmisión se vería afectada.

### ***Continuidad del enlace***

En esta etapa de pruebas únicamente se mide continuidad entre los extremos del enlace internacional. Normalmente se realiza colocando bucles físicos en uno de los extremos y revisando en el otro si estos bucles pueden ser vistos con la ayuda de un equipo para mediciones SDH.

Se utilizará en este caso un equipo Sunrise Telecom modelo Sunset SDH.

El objetivo de realizar estas pruebas es verificar que el enlace esté activo, toda la ruta este completa, que no exista ningún segmento abierto y que no se tengan bucles activos en algún punto intermedio de la transmisión.

### ***TTI***

Esta prueba implica la habilitación de mensajes que viajarán a través de la sección de encabezados de la trama STM-1 del enlace. Los mensajes o etiquetas se habilitan en ambos lados y se configura el equipo para que proceda con el envío de éstos. Los mensajes enviados desde los equipos del Nap de las Américas deben ser vistos por los equipos en Puerto Barrios y viceversa. Esta tarea no solo verifica la continuidad en el enlace sino se asegura que la sección de encabezados que se utiliza para dar paso a estos identificadores no ha sido bloqueada en alguno de los equipos de transmisión de redes ajenas.

### ***BER test***

Las pruebas de tasa de bits errados se realizan para asegurarse que la transmisión del enlace se encuentre libre de errores, deslizamientos, etc.

Estas pruebas se realizan con medidores de acceso SDH. En el caso de este proyecto se utilizará un medidor marca Sunrise Telecom modelo *Sunset SDH*; el cual además de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, tiene la capacidad de medir errores como LOS, LOF, AIS, LOP, CBIT, errores de código, etc.

Las pruebas se realizarán por un lapso de 24 horas continuas. De encontrarse errores no aceptables, se deberá encontrar la fuente del problema, corregirse y reanudar las pruebas nuevamente hasta que las mismas arrojen resultados aceptables.

### ***Conmutación***

Para asegurarse que las rutas destinadas para protección de los circuitos, deben hacerse simulaciones de falla en las rutas principales y observar el comportamiento del nodo en cuanto a sus acciones de conmutación.

Estas simulaciones pueden realizarse por medio de una desconexión física del medio de transmisión o remotamente apagando los emisores de laser. Con esto, los equipos deben detectar una pérdida de señal y conmutar inmediatamente el tráfico hacia sus rutas de protección. El mismo proceso inverso se hace para regresar a las rutas de trabajo originales.

Los segmentos de red que se probarán son los siguientes:

- Interconexión STM-4 SDXC NAP → Proveedor capacidad submarina
- Interconexión STM-16 SDXC NAP → ADM NAP
- Interconexión STM-4 ADM Puerto Barrios → Proveedor capacidad submarina.
- Agregados STM-16 ADM Puerto Barrios → Anillo SDH de backhaul hacia POP Navega.

### ***Energía***

Estas pruebas se realizan en cada uno de los nodos con el fin de simular fallas de energía DC. Básicamente el procedimiento es desconectar la alimentación de energía primaria para observar la respuesta de los módulos de protección que se alimentan de la fuente de energía secundaria y viceversa.

#### 4.3.2. Pruebas de sincronismo

Cuando se habla de mediciones del sincronismo de una red SDH, se busca principalmente una revisión exhaustiva del diseño para constatar que no existan loopbacks. Adicionalmente se pueden realizar mediciones de transmisión, del mismo tipo de las pruebas de BER, con el fin de determinar la ausencia de deslizamientos de reloj, wander y jitter.

El mismo tipo de medidor que se utilizará para las pruebas de BER se empleará para determinar el correcto funcionamiento de la red de sincronía del proyecto.

#### 4.3.3. Valores recomendados

De acuerdo con la recomendación UIT-T G.828, relativa a los *Parámetros y objetivos de característica de error para trayectos digitales síncronos internacionales de velocidad binaria constante*, deben cumplirse ciertos objetivos en cuanto a la disponibilidad del enlace y errores que pueden ser soportados por el mismo. Por ejemplo, para una capacidad de un VC-12, se espera que las tasas de:

Segundos errados = 0,01

Segundos severamente errados = 0,002

Bloques de bits errados =  $5 \times 10^{-5}$

Mientras que para un trayecto VC-4 se espera que las tasas tengan los siguientes valores:

Segundos errados = 0,04

Segundos severamente errados = 0,002

Bloques de bits errados =  $5 \times 10^{-4}$

#### 4.4. Resultados

Tabla X. Resultados de pruebas de conexiones físicas.

##### *Conexión Física*

Item	Sitio	Origen	Destino	Tipo de Conexión	Resultado	Acción
1	NAP	IF STM-4 SDXC (Principal)	Panel ODF	Patchcord LC-SC	Correcto	Ninguna
2	NAP	IF STM-4 SDXC (Secundaria)	Panel ODF	Patchcord LC-SC	Invertido Tx/Rx	Corregido
3	NAP	IF STM-16 SDXC (Principal)	IF agregado STM-16 ADM (Principal)	Patchcord LC-LC	Correcto	Ninguna
4	NAP	IF STM-16 SDXC (Secundaria)	IF agregado STM-16 ADM (Secundaria)	Patchcord LC-LC	Correcto	Ninguna
5	NAP	Tributarios ADM	Paneles Tributarios	UTP	Correcto	Ninguna
6	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Principal)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Correcto	Ninguna
7	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Secundaria)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Tx no funciona	Reemplazo de Patchcord
8	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Principal)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Correcto	Ninguna
9	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Secundaria)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Correcto	Ninguna
10	POP Navega PBA	IF STM-16 SDXC (Principal)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Correcto	Ninguna
11	POP Navega PBA	IF STM-16 SDXC (Secundaria)	Panel ODF	Patchcord LC-FC	Correcto	Ninguna

Notar que en los casos en los que los resultados no fueron correctos, se realizaron las acciones necesarias para dejarlos totalmente funcionales.

### ***Continuidad del enlace***

Luego de varias pruebas en las que se obtiene continuidad en el circuito, aún cuando uno de los extremos (en el Nap de las Américas) se encuentra abierto; se detecta que el proveedor tiene colocado un bucle en algún punto intermedio de la transmisión. Se solicita remover este bucle, con lo que se detecta la continuidad deseada.

### ***TTI***

Tabla XI. Resultados de pruebas de TTI.

Item	Sitio	Elemento	Estatus TTI	Acción
1	NAP	IF STM-4 SDXC (Principal)	Recibido	Ninguna
2	NAP	IF STM-4 SDXC (Secundaria)	Recibido	Ninguna
3	NAP	IF STM-16 SDXC (Principal)	Recibido	Ninguna
4	NAP	IF STM-16 SDXC (Secundaria)	Recibido	Ninguna
5	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Principal)	No recibido	Reiniciar módulo
6	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Secundaria)	Recibido	Ninguna
7	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Principal)	Recibido	Ninguna
8	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Secundaria)	Recibido	Ninguna
9	POP Navega PBA	IF STM-16 SDXC (Principal)	Recibido	Ninguna
10	POP Navega PBA	IF STM-16 SDXC (Secundaria)	Recibido	Ninguna

Notar que en los casos en los que los resultados no fueron correctos, se realizaron las acciones necesarias para dejarlos totalmente funcionales.

**BER test**

SUNRISE TELECOM  
SUNSET SDH - S/N: 200161  
SunSet S4.03ag

TEST CONFIGURATION  
T.MODE:SINGLE  
T.INTF:2.048M T.PAYL:2.048M  
FRAME :UNFRAME  
RxLVL :TERM  
TxLVL :DSX  
TxCLK :LINE  
TxSRC :TESTPAT

```
*****ALARMS/ERRORS [2M]*****      *****BERT & G.821*****  
                                     BERT  
LOSS :0                               LOPS:0  
LOFS :0                               CBIT:0      CBER :0.00e+00  
AISS :0                               BIT :0      BER :0.00e+00  
YELS :0                               G.821  
IDLE :0                               ES :0      %ES :0.00  
FEBE :0                               SES :0     %SES :0.00  
Pbit :0                               EFS :86604 %EFS :100.00  
Cbit :0                               AS :86604  %AS :100.00  
                                     UAS :0     %UAS :0.00
```

Se puede apreciar en los resultados anteriores que luego de correrse la prueba por más de 24 horas, se ha encontrado libre de errores.

### ***Conmutación***

Se utilizó el método de apagar el laser emisor de señal para cada una de las interfaces. Se realizó un circuito VC-12 sobre el cual se hicieron las pruebas. Las conmutaciones fueron detectadas por el equipo de medición y se encuentran en la Tabla XII.

Tabla XII. Resultados de pruebas de conmutación.

<b>Ite m</b>	<b>Sitio</b>	<b>Elemento</b>	<b>Conmuta</b>	<b>Error detectado</b>
1	NAP	IF STM-4 SDXC (Principal)	SI	AIS, LSF
2	NAP	IF STM-4 SDXC (Secundaria)	SI	AIS, LSF
3	NAP	IF STM-16 SDXC (Principal)	SI	AIS, LSF
4	NAP	IF STM-16 SDXC (Secundaria)	SI	AIS, LSF
6	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Principal)	SI	AIS, LSF
7	POP Proveedor PBA	IF STM-4 ADM (Secundaria)	SI	AIS, LSF
8	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Principal)	SI	AIS, LSF
9	POP Proveedor PBA	IF agregado STM-16 ADM (Secundaria)	SI	AIS, LSF

Vale la pena mencionar que la casilla “error detectado” de la Tabla XII, se refiere específicamente al tipo de error que fue detectado por el equipo de medición al momento de la conmutación; esto no implica que la transmisión se hubiese visto afectada si se tratara de un enlace en producción.

### ***Energía***

En todos los equipos, los módulos PS y PSF son capaces de soportar la carga del nodo por si solos, ya sea que se trate de primarios o secundarios.

### *Sincronismo*

\*\*\*\*\*SUMMARY [45M]\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*FREQUENCY

[45M]\*\*\*\*\*

CODE:0      RATE:0.00e+00

FBE :0      RATE:0.00e+00

BIT :0      BER :0.00e+00

FREQ:44736000                      Rx Hz :44736000 / 0.0      ppm

Vpk :0.73 V                      MIN Hz:44736000 / 0.0      ppm

LPP :1.7 dBdsx                      MAX Hz:44736000 / 0.0      ppm

CLKSLP:N/A

+WNDR :N/A

-WNDR :N/A

## 4.5. Esquemas finales

### 4.5.1. Redes y equipos

En la Figura 20 se puede apreciar como la capacidad STM-1 entregada por el proveedor internacional, es recogida tanto en Puerto Barrios (POP Proveedor) como en el Nap de las Américas en interfaces STM-4 con transceivers S-4.1 y llevada a través de capacidades superiores interconectadas entre sí.

Los equipos que utiliza el proveedor son desconocidos para nosotros, sin embargo, ya que todo se maneja bajo el estándar SDH, es posible acordar parámetros técnicos en conjunto para que los esquemas de protección definidos sean completamente funcionales.

En todos los casos de interconexión, ya sea a nivel STM-4 o STM-16 se ha dotado a los equipos de una ruta de trabajo y una de protección.

En caso de crecimiento de esta capacidad internacional, de su actual STM-1 hacia un valor superior (hasta STM-4), se deben habilitar las correspondientes AU-4s en los

extremos del enlace y backhaul; aprovechando así la facilidad de crecimiento que presenta el diseño.

#### 4.5.2. Sincronismo

La red de sincronismo completa para este proyecto recibe un total de cuatro fuentes independientes. Tal y como se puede ver en la Figura 21, estas fuentes son distribuidas a lo largo de la red, teniendo en consideración la calidad con la que son percibidas por los equipos y que ninguna de ellas sea trazable a sí misma.

Los equipos instalados en el POP del proveedor en Puerto Barrios se sincronizan a la red internacional, para evitar posibles discrepancias en la calidad con los relojes de la red local.

Así mismo, se utiliza la fuente de reloj #3 como otra posibilidad de sincronismo para la red local en caso de falla de las dos fuentes propias que se tienen en el POP de Guatemala.

Debe notarse la secuencia que se ha seguido para la distribución del reloj, ya que este diseño contempla que ninguno de los relojes en la red puede formar un loopback de sincronismo.

En el caso del equipo SDXC del Nap de las Américas, el caso es más sencillo, pues solamente se tienen dos fuentes de sincronismo recibidas por interfaces STM-n. La calidad de ambos relojes es PRC, por lo que la elección de cualquiera de ambas fuentes es casi inverosímil.

El equipo ADM del Nap de las Américas presenta una configuración sencilla pero delicada en cuanto al sincronismo. Este nodo únicamente recibirá sincronismo por sus agregados STM-16. Dichos agregados están siendo derivados del SDXC. Por lo anterior, la sincronía del ADM depende enteramente de la selección que el SDXC haga de las fuentes de sincronía recibidas. Si el SDXC selecciona la fuente 3 (por ejemplo), el ADM automáticamente estará recibiendo la señal de esta fuente, por ser su única posibilidad.

De quedar el SDXC sin fuentes externas de reloj y funcionando en holdover, el ADM detectará una calidad DNU, por lo que también entrará en modo holdover.

#### 4.5.3. Gestión

De acuerdo a lo que podemos observar en la Figura 22, la gestión de los equipos instalados en el Nap de las Américas fue agregada a la LAN del sistema de gestión Tellabs 8100 por medio de dos circuitos distintos.

El primero de ellos, proveniente del SDXC Tellabs 6350 fue enrutado por la red internacional IP, pasando por un switch en el Nap y otro en el POP de Navega en donde se tienen equipos de gestión, hasta interconectarlo a la LAN correspondiente.

El segundo enlace se establece por la red PDH internacional, utilizando como extremos los llamados LANBRIDGE o puentes LAN. El trabajo de estos módulos es realizar una interfaz entre las capacidades nx64 Kbps de la red PDH y un puerto LAN 10BASE-T. El ancho de banda asignado para este enlace es de 256 Kbps.

El objetivo de tener dos circuitos de gestión es para mantener redundancia de la gestión, pues al momento de fallar una de las redes o circuitos, la gestión se seguirá recibiendo por el otro.

Así mismo se habilitaron los canales de comunicación DCC entre los nodos SDXC y ADM del Nap; para que sea posible tener gestión de un equipo desde el otro y viceversa. Al momento de fallar uno de los enlaces de gestión, podemos ver en la Figura 22 que, de no ser por los canales DCC solo se tendría acceso al nodo en donde termine el circuito que se encuentre en funcionamiento.

Es sumamente importante tener redundancia de gestión en sitios remotos como el Nap de las Américas, ya que la movilización de personal técnico en caso de falla es más complicada que cuando se trata de las redes locales.

Figura 20. Esquema final de equipos y redes.

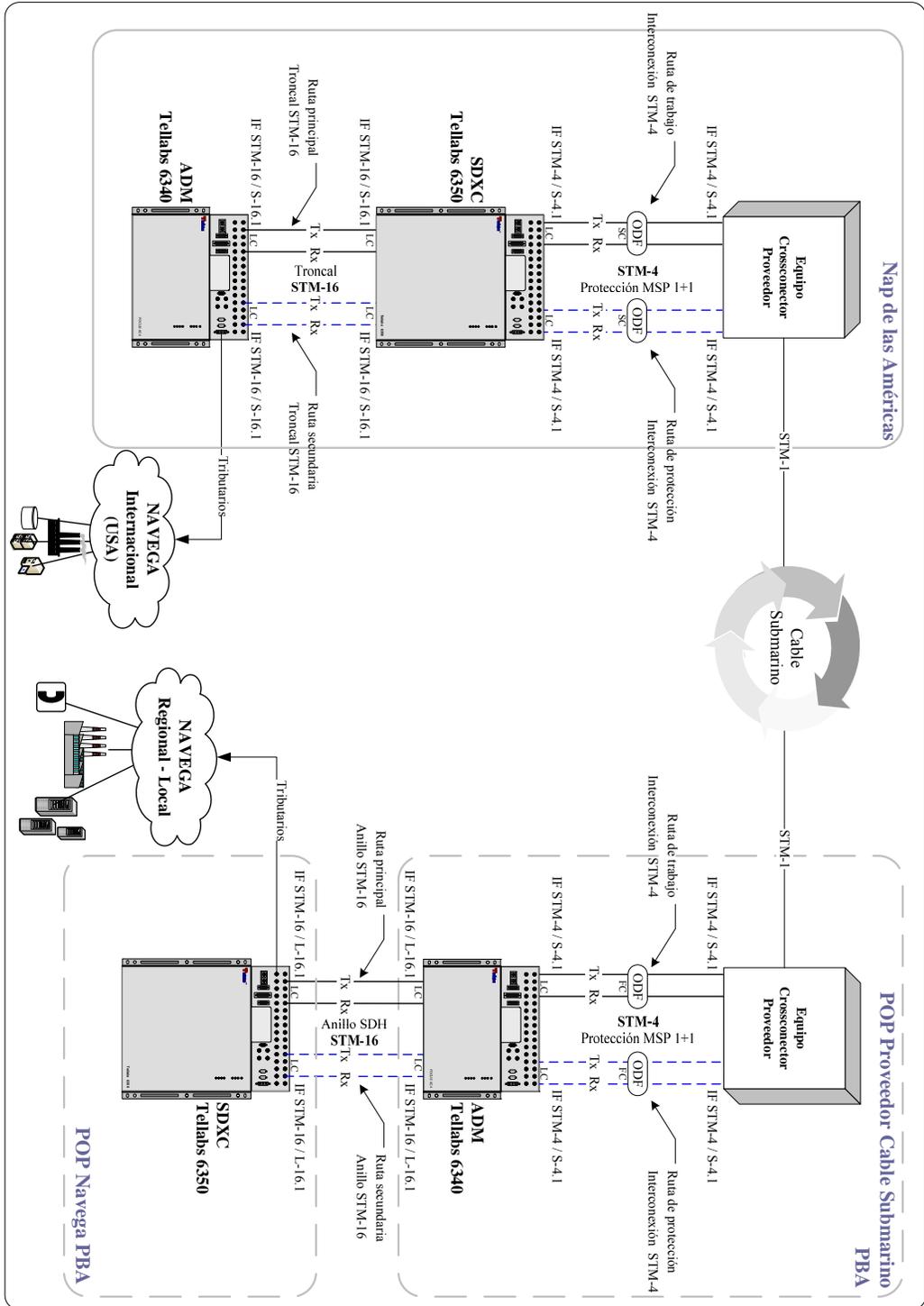


Figura 21. Sincronía final del proyecto.

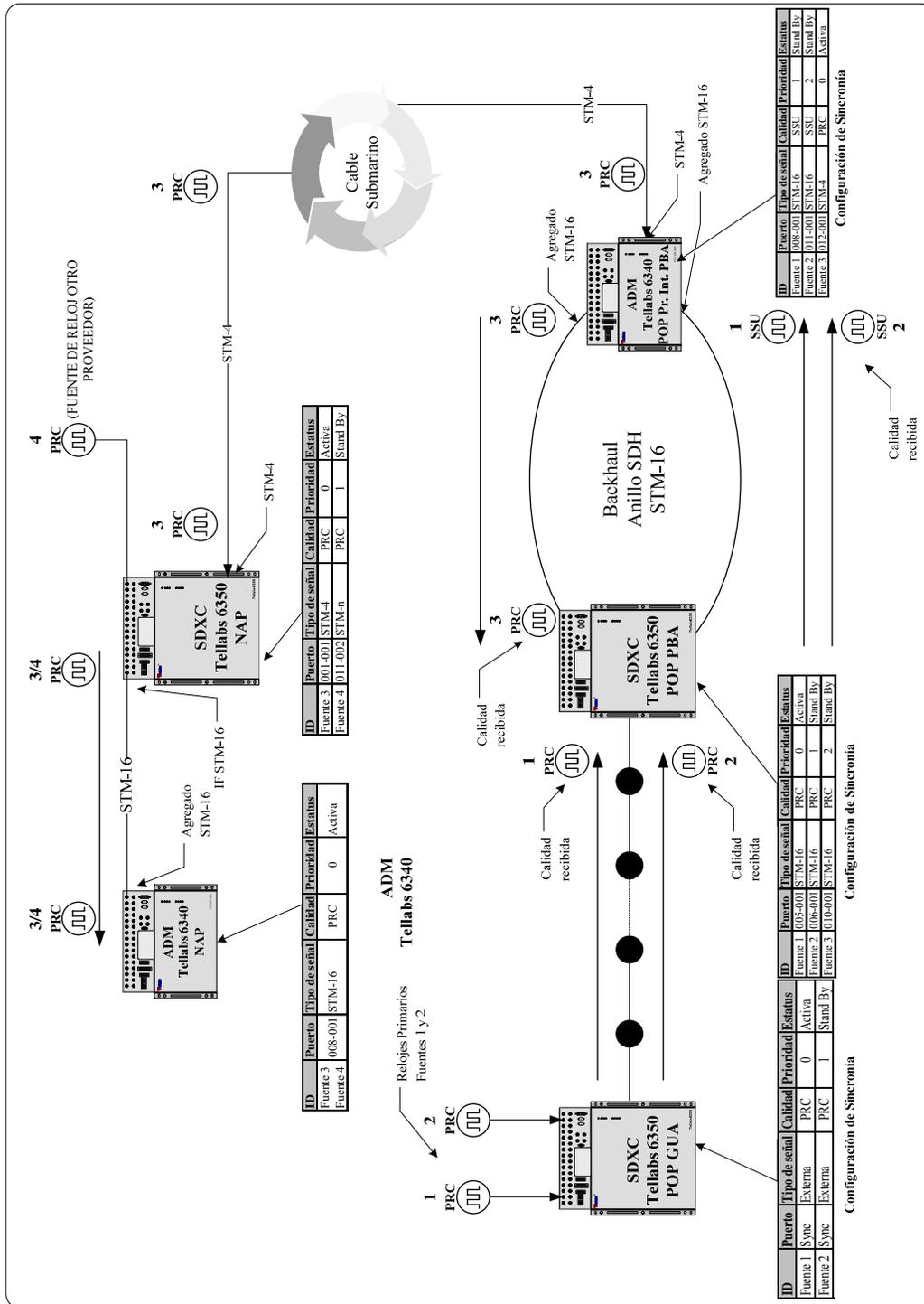
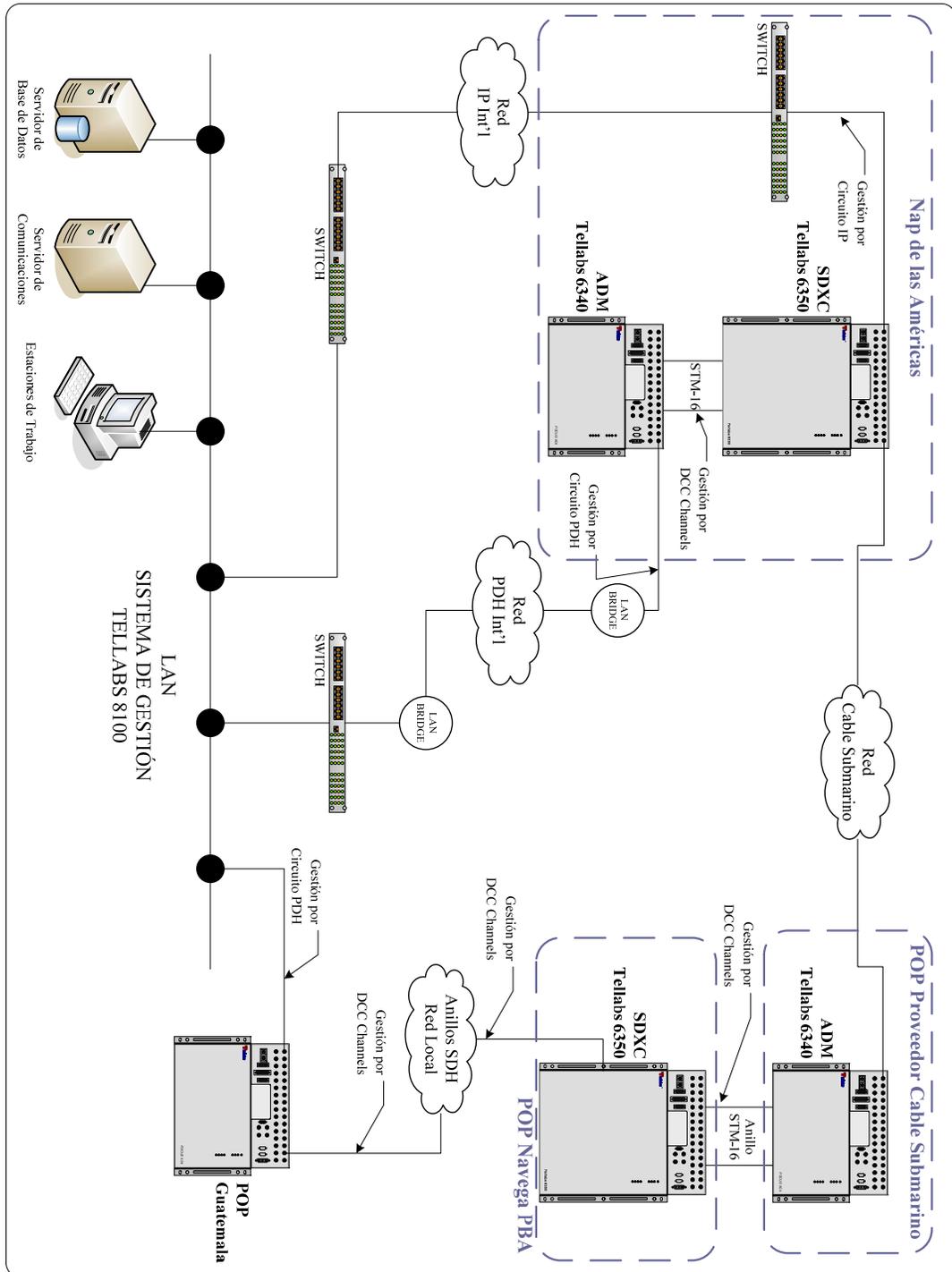


Figura 22. Elementos de gestión de los nodos del proyecto.





## CONCLUSIONES

1. Es posible configurar exitosamente interfaces STM-n subutilizadas en transmisión SDH, para la recolección, tributación o interconexión de tráfico con redes propias o de otros proveedores.
2. En caso de tener varias fuentes de sincronismo independientes para un elemento de red cualquiera; puede escogerse la de mejor calidad para funcionamiento activo dentro de la red y dejar las fuentes adicionales como stand by para su posible funcionamiento en caso de falla.
3. Es necesario contar con esquemas de protección de red meticulosamente diseñados y probados; para asegurar niveles adecuados de disponibilidad de los enlaces.
4. En todo proyecto que involucre interconexión con otros proveedores de servicios de telecomunicaciones, es imprescindible acordar previamente los parámetros técnicos con todos los involucrados; para asegurar el correcto funcionamiento de la red.
5. Siempre que todos los proveedores involucrados en la implementación de un proyecto de red internacional, se apeguen a las normativas emanadas por la UIT; será factible la apropiada interconexión e interacción de los elementos de red implicados.

6. El tiempo utilizado en la implementación de un proyecto de interconexión de redes, es sumamente importante desde el punto de vista comercial, para hacer desde el inicio una red rentable.
  
7. A medida que las redes son provistas por equipos que permitan un fácil crecimiento, esto las hace más competitivas y menos susceptibles a los rápidos cambios tecnológicos que se suscitan en el medio de las telecomunicaciones.
  
8. Una red puede ser catalogada como versátil siempre que permita la interconexión de otras redes de distintas capacidades y tecnologías. Este hecho agrega valor a la red.

## RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable que todos los proveedores involucrados en un proyecto de red internacional participen en el diseño, implementación y pruebas del mismo.
2. Siempre que sea posible, se recomienda generar diseños de red que permitan el crecimiento de manera relativamente fácil.
3. Se sugiere utilizar las recomendaciones de UIT en toda etapa de los proyectos de telecomunicaciones.
4. El diseño de ingeniería en un proyecto de este tipo, debe considerar también los factores económicos y sociales que giran a su alrededor.
5. Antes de elegir algún tipo de tecnología que servirá de core para una red de telecomunicaciones, debe considerarse la capacidad de la misma para transportar distintos tipos de servicios y protocolos, utilizando el equipamiento y capacidades provistos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ares, Roberto.  
**Manual de las Infotelecomunicaciones.**  
Argentina: s.e. 2000.
2. Bates, Regis J.  
**Synchronous Digital Hierarchy.**  
Estados Unidos de América: Editorial McGraw-Hill. 2001
3. Bregni, Estefano.  
**Synchronization of Digital Telecommunications Networks.**  
Inglaterra: Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 2002.
4. Chain Nassir y Sapag Chain Reinaldo.  
**Preparación y evaluación de Proyectos.**  
Tercera edición. S.l. McGraw-Hill.
5. Federal Communications Commission  
**Federal Standard 1037C, Glossary of Telecommunication Terms.**  
Estados Unidos de América: s.e. 1996.
6. La Enciclopedia.  
(Volúmenes V, VII y X). Colombia: Salvat Editores, S.A. 2004.
7. Ley General de Telecomunicaciones.  
Decreto 94-96 del Congreso de la República de Guatemala.  
Guatemala: 1996.
8. Nortel Networks  
**Optera Metro System Manuals**  
s.e., s.l.  
1998
9. Recomendaciones del Sector de Telecomunicaciones de la UIT.  
**Informes de Conferencias de Desarrollo y Conferencias Plenipotenciarias de la UIT.**  
Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra, Suiza.

10. Ryu, Shiro. **Coherent Lightwave Communication Systems.**  
(The Arthec House Optoelectronics Library).  
Inglaterra: Artech House Inc. 1995. 283pp.
  
11. S. Irene, *et al.* **The Transport Layer: Tutorial and Survey.**  
s.e. ACM Computing Surveys. Estados Unidos de América: 1999.
  
12. Sexton, Mike y Andy Reid  
**Transmission Networking: SONET and the Synchronous Digital Hierarchy.**  
Inglaterra: Artech House Inc. 1992.
  
13. Stremmer, Ferrel G.  
**Introduction to Communication Systems.**  
s.l. Tercera edición. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. 1993.
  
14. Tellabs  
**Tellabs 6340 Switch Node**  
Manuals Training Course  
Rev. 2004.
  
15. Tellabs  
**Tellabs 6340 FP 4.0 / 6345 / 6350 Nodes in Tellabs 8100 System**  
Manuals Training Course  
Rev. 2005-2-22.
  
16. The International Engineering Consortium.  
**Synchronous Digital Hierarchy (SDH).**  
Presentation
  
17. Young, Carol  
**The Penguin Dictionary of Electronics.**  
Segunda Edición. S.l. Editorial Penguin Books. 1988. 671pp.

Principales sitios web visitados:

<a href="http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037">http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037</a>	Septiembre de 2007.
<a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a>	Agosto de 2007
<a href="http://www.networkdictionary.com">http://www.networkdictionary.com</a>	Octubre de 2007
<a href="http://www.itu.int">http://www.itu.int</a>	Octubre de 2007
<a href="http://www.citel.oas.org">http://www.citel.oas.org</a>	Octubre de 2007
<a href="http://www.icc.org">http://www.icc.org</a>	Agosto de 2007.

## APÉNDICES

### Normativa nacional

#### Ley General de Telecomunicaciones

La Ley General de Telecomunicaciones, decreto 94-96 del Congreso de la República de Guatemala; es concebida con el objetivo principal de estimular la rápida apertura del mercado de las telecomunicaciones en Guatemala.

En 1996 se creó la Superintendencia de Telecomunicaciones, como única entidad técnica del Gobierno de Guatemala, facultada para velar por el cumplimiento de las normativas en materia de telecomunicaciones.

La Ley General de Telecomunicaciones abre las puertas a la libre participación de empresas en la prestación de servicios de telecomunicaciones como telefonía fija (local, larga distancia e internacional), telefonía móvil, enlaces de voz y datos que pueden ahora ensamblarse sobre tecnologías de vanguardia (IP, MPLS, Frame Relay, etc); dejando atrás la época del monopolio, en la que solo algunas empresas podían acceder a este tipo de mercados. Estos cambios traen consigo el establecimiento de empresas transnacionales de telecomunicaciones en libre competencia, lo que conlleva beneficios al usuario en cuanto a calidad, disponibilidad, precio y muchos otros aspectos que trae consigo la libre elección de un producto o servicio.

Esta Ley establece las condiciones de operación de servicios de telecomunicaciones; de acuerdo con las siguientes categorías:

- Operadores de redes comerciales de telecomunicaciones: aquellas empresas o entidades que comercializan servicios utilizando una red física propia o arrendada.
- Titulares de derechos de usufructo del espectro radioeléctrico: aquellas personas, empresas o entidades que poseen un derecho para hacer uso de ciertas bandas de frecuencia dentro del espectro radioeléctrico. Dentro de estos se pueden

encontrar operadores de servicios inalámbricos, telefonía móvil, radiodifusión, enlaces privados, etc.

- Usuarios de bandas de frecuencias reservadas: entidades y organismos estatales que hacen uso de bandas de frecuencias radioeléctricas para fines de su propia comunicación o con otras entidades de gobierno únicamente.
- Radioaficionados: usuarios de bandas de frecuencias establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones para el servicio de radioaficionados.
- Usuarios de comunicaciones satelitales: toda aquella entidad o empresa que envíe o reciba señales hacia o desde cualquier satélite de telecomunicaciones que tenga presencia tecnológica o comercial dentro de nuestro país.

Adicionalmente a los lineamientos que deben seguir los usuarios mencionados en los puntos anteriores, la Ley General de Telecomunicaciones también establece procedimientos a seguir en casos de discordias entre operadores de telecomunicaciones; esto es en casos de interferencias, interconexiones, tarificación, etc.

Así mismo, se describen las sanciones económicas y jurídicas a las que los transgresores de esta Ley se hacen acreedores, de acuerdo al tipo de falta que se haya cometido.

## Entidades reguladoras de telecomunicaciones

### UIT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, que fue creada el siglo pasado, es una organización imparcial e internacional en la cual los gobiernos y el sector privado pueden trabajar juntos para coordinar la explotación de redes y servicios de telecomunicaciones y promover el desarrollo de la tecnología de comunicaciones. A pesar de seguir siendo relativamente desconocida para el gran público, la labor que viene desarrollando desde hace más de 100 años ha ayudado a crear una red mundial de comunicaciones que integra hoy una gran variedad de tecnologías y que sigue siendo uno de los sistemas más fiables que el hombre haya realizado jamás.

Las actividades de normalización de la Unión, que ya han ayudado a promover la expansión de nuevas tecnologías como la telefonía móvil e Internet, están sirviendo ahora para definir las bases sobre las cuales se construye la incipiente infraestructura mundial de la información y para el diseño de sistemas multimedios avanzados capaces de procesar fácilmente señales de voz, datos, audio y vídeo.

Al mismo tiempo, la UIT sigue realizando su labor de gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas, gracias a la cual los sistemas de radiocomunicaciones, como los teléfonos celulares y los aparatos de radiobúsqueda, los sistemas aéreos y de navegación marítima, las estaciones de investigación espacial, los sistemas de comunicaciones por satélite y los de radiodifusión sonora y de televisión continúan funcionando sin interrupción y proporcionan servicios inalámbricos fiables a los habitantes del planeta.

Los fines de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, tal como están definidos en su Constitución, son los siguientes:

- Mantener y ampliar la cooperación internacional entre todos sus Estados Miembros para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones
- Alentar y mejorar la participación de entidades y organizaciones en las actividades de la Unión y favorecer la cooperación fructífera y la asociación entre ellas y los Estados Miembros para la consecución de los fines de la Unión
- Promover y proporcionar asistencia técnica a los países en desarrollo en el campo de las telecomunicaciones y promover asimismo la movilización de los recursos materiales, humanos y financieros necesarios para dicha asistencia, así como el acceso a la información de estos países
- Impulsar el desarrollo de los medios técnicos y su más eficaz explotación, a fin de aumentar el rendimiento de los servicios de telecomunicación, acrecentar su empleo y generalizar lo más posible su utilización por el público

- Promover la extensión de los beneficios de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones a todos los habitantes del planeta
- Promover la utilización de los servicios de telecomunicaciones con el fin de facilitar las relaciones pacíficas
- Armonizar los esfuerzos de los Estados Miembros y favorecer una cooperación y una asociación fructíferas y constructivas entre los Estados Miembros y los Miembros de los Sectores para la consecución de estos fines
- Promover a nivel internacional la adopción de un enfoque más amplio de las cuestiones de las telecomunicaciones, a causa de la mundialización de la economía y la sociedad de la información, cooperando a tal fin con otras organizaciones intergubernamentales mundiales y regionales y con las organizaciones no gubernamentales interesadas en las telecomunicaciones.

### ***Funciones y actividades***

La Unión Internacional de Telecomunicaciones se diferencia de todas las demás organizaciones internacionales en que se basa en el principio de la cooperación entre gobiernos y sector privado. Sus Miembros son instituciones políticas y de reglamentación en telecomunicaciones, operadores de redes, fabricantes de equipo, realizadores de equipos y programas informáticos, organizaciones regionales de normalización e instituciones de financiación, por lo cual puede afirmarse que las actividades, las políticas y la dirección estratégica de la UIT están determinadas y concebidas por el sector al que sirve.

El clima en el que la UIT desarrolla su labor en la actualidad es muy diferente del que existía 135 años atrás cuando la organización fue fundada. En los últimos 20 años, las telecomunicaciones han pasado de ser un instrumento que facilitaba las comunicaciones de individuo a individuo a convertirse en la base sobre la que se realizan un gran número de actividades que van desde el comercio internacional a la atención sanitaria y, cada vez más, la educación. Hoy son vitales las redes de telecomunicaciones rápidas y fiables

para la provisión a través de las fronteras de servicios como la banca, el transporte, el turismo, la información en línea y la compra electrónica desde el hogar.

Al mismo tiempo, los individuos e instituciones a los que sirve la Unión también están cambiando, debido a que la forma de prestar servicios de telecomunicaciones ha evolucionado, y también a la convergencia de los sectores de las comunicaciones, la informática y el entretenimiento audiovisual. La liberalización y la desreglamentación del sector de las telecomunicaciones en muchos países han hecho que los Miembros tradicionales de la UIT pidan a la organización que les proporcione nuevos servicios, sobre todo en relación con el desarrollo de políticas y la orientación en materia de reglamentación.

## CITEL

La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones es el foro principal de telecomunicaciones de la región donde los gobiernos y el sector privado se reúnen para coordinar los esfuerzos regionales para desarrollar la Sociedad Global de la Información. CITEL es una entidad de la Organización de los Estados Americanos, tiene su sede en Washington, DC, Estados Unidos. Participan 35 Estados miembros y más de 200 miembros asociados. CITEL ha recibido mandatos específicos de los Jefes de Estado en las Cumbres de las Américas.

CITEL tiene autonomía para realizar sus funciones dentro de los límites prescriptos por la Carta de la OEA, su Estatuto y los mandatos de la Asamblea General. Sus objetivos incluyen facilitar y promover el continuo desarrollo de las telecomunicaciones en el hemisferio.

La Comisión tiene un Comité Ejecutivo Permanente, llamado COM/CITEL integrado por once miembros, y los:

- Comité Consultivo Permanente I: Normalización de Telecomunicaciones

- Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones incluyendo la Radiodifusión
- Comité de Coordinación
- Grupo de Trabajo Preparatorio de Conferencias

Los Comités Consultivos Permanentes (CCP) están integrados por todos los Estados miembros, miembros asociados que representan empresas y entidades privadas de telecomunicaciones, observadores permanentes y organismos regionales e internacionales.

***Comité Consultivo Permanente I:***

Telecomunicaciones

Objetivo: Actuar como comité asesor en Telecomunicaciones de la CITEL en materia de coordinación de normas para redes y servicios de telecomunicaciones, con el fin de lograr el interfuncionamiento de tales redes y servicios en la región, nuevas cuestiones de políticas, reglamentarias y de asuntos económicos planteadas por la rápida evolución de las telecomunicaciones e iniciativas relativas a la introducción de tecnología y servicios, como, entre otros, los ARM, los procedimientos de evaluación de la conformidad, y las cuestiones tarifarias

Para el cumplimiento de este objetivo, el Comité Consultivo Permanente I, cuenta con los siguientes mandatos:

De acuerdo con las Reglas de la UIT y considerando las Recomendaciones de la UIT:

- Promover entre los Estados miembros la coordinación, planificación y armonización con respecto a las normas técnicas, los procedimientos de evaluación de la conformidad, cuestiones tarifarias y marcos reglamentarios de redes de telecomunicaciones, para los efectos de facilitar la integración e interfuncionamiento de dichas redes

- Estimular y promover el desarrollo de servicios y redes de telecomunicaciones en la Región.
- Estimular y promover el desarrollo de redes de paquetes compatibles con plataformas de servicios múltiples en condiciones ubicuas de banda ancha, y suministrar servicios independientemente de métodos de acceso y tipos de medios para todos los tipos de usuarios. Además, promover el desarrollo y la implementación de tecnologías nuevas y en evolución, tales como IP, Ethernet, y aspectos de la red en las redes móviles (por ejemplo IMT-2000, otras tecnologías inalámbricas), y nuevos servicios tales como la transmisión de voz por IP, video por IP y sistema de mensajería multimedios.
- Estudiar los requerimientos de procesos de certificación de equipos de telecomunicaciones en los diferentes países de la CITEL, a fin de realizar análisis que permitan armonizar estos procesos de certificación en la región.
- Alentar la implementación de los Acuerdos de Reconocimiento Mutuo
- Desarrollar proyectos sobre aspectos económicos y principios de tarificación de los servicios de telecomunicaciones.
- Elaborar proyectos relativos a aspectos económicos y principios tarifarios de los servicios de telecomunicaciones, y considerando además el efecto de las Redes de Próxima Generación (NGN) para el suministro de tales servicios, estudiar la necesidad de un mecanismo nuevo o adaptado de cobro y contabilidad para dicho suministro en la región.
- Crear una conciencia acerca de la situación en materia de reglamentaciones para nuevas redes y servicios de telecomunicaciones entre los Estados miembros, para promover el debate sobre el tema y proporcionar recomendaciones sobre la manera de implementar un marco reglamentario eficiente, justo, funcional y con visión de futuro, que esté al servicio de los países de la región y que puedan adaptarse a las condiciones tecnológicas en constante cambio.
- Llevar a cabo la coordinación de los preparativos regionales para determinados eventos de la UIT, según corresponda, tales como las Asambleas Mundiales de

Normalización de las Telecomunicaciones, incluida la preparación de propuestas interamericanas (IAP) y posiciones comunes, así como efectuar consultas interregionales en preparación para dichos eventos.

- Llevar a cabo una labor coordinada con los diferentes Comités y grupos de trabajo de la CITEI, en aquellos aspectos que por su carácter, se presten a una acción conjunta.

### ***Comité Consultivo Permanente II:***

Radiocomunicaciones incluyendo Radiodifusión

Objetivo: Actuar como órgano técnico asesor de la CITEI respecto de la coordinación y armonización de normas relacionadas con el uso del espectro, así como de la planificación y uso eficiente del espectro radioeléctrico y órbitas satelitales para servicios de radiocomunicaciones, incluyendo la radiodifusión.

Para el cumplimiento de este objetivo, el Comité Consultivo Permanente II, cuenta con los siguientes mandatos:

De acuerdo con las Reglas de la UIT y considerando las recomendaciones de la UIT:

- Promover entre los Estados miembros la armonización en la utilización del espectro radioeléctrico y de la operación de los servicios de radiocomunicaciones, incluyendo la radiodifusión, en todas sus diferentes modalidades, teniendo en cuenta especialmente la necesidad de prevenir y evitar, en la medida de lo posible, interferencias perjudiciales.
- Estimular y fomentar el desarrollo de los servicios de radiocomunicaciones, incluyendo la radiodifusión, en la región.
- Fomentar el desarrollo e implementación de tecnologías modernas y nuevos servicios de radiocomunicaciones, incluyendo la radiodifusión, específicamente sus aspectos técnicos y operativos, que permitan satisfacer las necesidades de los Estados miembros.
- Tomar a cargo la coordinación de la preparación regional para las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones de la UIT, incluyendo la

preparación de Propuestas Interamericanas (IAPs) y posiciones comunes, así como llevar a cabo consultas inter-regionales en la preparación de dichas conferencias.

- Desarrollar una labor coordinada en los diferentes grupos de la CITELE en aquellos aspectos que, por su naturaleza, conlleven una acción conjunta.
- Llevar a cabo la coordinación y armonización de normas relativas al uso del espectro como por ejemplo transmisión de radiodifusión e interfaces de aire para servicios de radiocomunicaciones.

### ***Comité de Coordinación***

El Comité de Coordinación está conformado por el Presidente y Vicepresidente del COM/CITEL y los Presidentes de los CCP.

Términos de Referencia:

- Fortalecer la coordinación de actividades de los distintos órganos de la CITELE y su relación con otros órganos de telecomunicaciones o vinculados con esta actividad, dentro y fuera de la Región América en procura de lograr un mejor funcionamiento de la CITELE en su conjunto.
- Utilizar en forma más eficiente los fondos e incrementar los recursos del Fondo Regular y de los Fondos Específicos, y tiene la responsabilidad de presentar al COM/CITEL un informe detallado sobre:
  - todo proyecto de propuesta de enmienda al Estatuto y al Reglamento de la CITELE.
  - todo proyecto de propuesta de enmienda a los Mandatos de los Comités Consultivos Permanentes y de los Grupos de Trabajo dependientes del COM/CITEL.
  - todo proyecto de propuesta de presupuesto y de toda propuesta de modificación sobre presupuestos y Programas de Actividades en ejecución.

- las conclusiones sobre el examen exhaustivo de la ejecución de los Programas de Actividades y de Presupuesto realizada por los Comités Consultivos Permanentes, los Grupos de Trabajo dependientes del COM/CITEL y la Secretaría Ejecutiva de la CITEL y las decisiones adoptadas por el Comité de Coordinación.

***Grupo de Trabajo Preparatorio de Conferencias para abordar los Preparativos Regionales para Conferencias y Reuniones Mundiales***

Mandatos:

- Realizar la coordinación de los preparativos regionales para la Conferencia de Plenipotenciarios y la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT, incluida la preparación de propuestas interamericanas y de posiciones comunes.
- Realizar la coordinación de los preparativos regionales para otras reuniones internacionales importantes dentro de las competencias de la CITEL
- Realizar consultas interregionales en preparación para esas conferencias y reuniones

**Recomendaciones internacionales aplicables**

RECOMENDACIONES DE UIT-T

<b><u>F.1330 (09/97)</u></b>	Performance limits for bringing into service of the parts of international PDH and SDH paths and sections implemented by digital radio-relay systems
<b><u>F.750-1 (09/94)</u></b>	Architectures and functional aspects of radio-relay systems for SDH-based networks
<b><u>F.750-2 (10/95)</u></b>	Architectures and functional aspects of radio-relay systems for SDH-based networks

<b><u>F.750-3 (09/97)</u></b>	Architectures and functional aspects of radio-relay systems for SDH-based networks
<b><u>F.750-4 (05/00)</u></b>	Architectures and functional aspects of radio-relay systems for synchronous digital hierarchy (SDH)-based network
<b><u>F.751-1 (09/94)</u></b>	Transmission characteristics and performance requirements of radio-relay systems for SDH-based networks
<b><u>F.751-2 (09/97)</u></b>	Transmission characteristics and performance requirements of radio-relay systems for SDH-based networks
<b><u>S.1149 (10/95)</u></b>	Network architecture and equipment functional aspects of digital satellite systems in the FSS forming part of SDH transport networks
<b><u>S.1250 (05/97)</u></b>	Network management architecture for digital satellite systems forming part of SDH transport networks in the fixed-satellite service
<b><u>S.1251 (07/97)</u></b>	Network management - Performance management object class definitions for satellite systems network elements forming part of SDH transport networks in the fixed-satellite service
<b><u>S.1252 (05/97)</u></b>	Network management - Payload configuration object class definitions for satellite system network elements forming part of SDH transport networks in the fixed-satellite service
<b><u>G.691 (10/00)</u></b>	Optical interfaces for single-channel STM-64, STM-256 and other SDH systems with optical amplifiers
<b><u>G.691 (12/03)</u></b>	Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers
<b><u>G.707 (03/96)</u></b>	Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.707/Y.1322 (10/00)</u></b>	Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.707/Y.1322 (12/03)</u></b>	Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.708 (07/99)</u></b>	Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.7714.1/Y.1705.1 (04/03)</u></b>	Protocol for automatic discovery in SDH and OTN networks
<b><u>G.774 (09/92)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management information model for the network element view
<b><u>G.774 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management information model for the network element view
<b><u>G.774.01 (11/94)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) performance monitoring for the network element view

<b><u>G.774.01 (1994)</u></b> <b><u>Corrigendum 1</u></b> <b><u>(11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) performance monitoring for the network element view
<b><u>G.774.02 (11/94)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) configuration of the payload structure for the network element view
<b><u>G.774.02 (1994)</u></b> <b><u>Corrigendum 1</u></b> <b><u>(11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) configuration of the payload structure for the network element view
<b><u>G.774.03 (11/94)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management of multiplex-section protection for the network element view
<b><u>G.774.03 (1994)</u></b> <b><u>Corrigendum 1</u></b> <b><u>(11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of multiplex-section protection for the network element view
<b><u>G.774.04 (07/95)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management of the subnetwork connection protection for the network element view
<b><u>G.774.04 (1995)</u></b> <b><u>Corrigendum 1</u></b> <b><u>(11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of the subnetwork connection protection for the network element view
<b><u>G.774.05 (07/95)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of connection supervision functionality (HCS/LCS) for the network element view
<b><u>G.774.05 (1995)</u></b> <b><u>Corrigendum 1</u></b> <b><u>(11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of connection supervision functionality (HCS/LCS) for the network element view
<b><u>G.774.1 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Bidirectional performance monitoring for the network element view
<b><u>G.774.10 (02/01)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplex Section (MS) shared protection ring management for the network element view
<b><u>G.774.2 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Configuration of the payload structure for the network element view
<b><u>G.774.3 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management of multiplex-section protection for the network element view
<b><u>G.774.4 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of the subnetwork connection protection for the network element view
<b><u>G.774.5 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management of connection supervision functionality (HCS/LCS) for the network element view
<b><u>G.774.6 (04/97)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) unidirectional performance monitoring for the network element view

<b><u>G.774.6 (02/01)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) - Unidirectional performance monitoring for the network element view
<b><u>G.774.7 (11/96)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of lower order path trace and interface labelling for the network element view
<b><u>G.774.7 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of lower order path trace and interface labelling for the network element view
<b><u>G.774.8 (04/97)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management of radio-relay systems for the network element view
<b><u>G.774.8 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Management of radio-relay systems for the network element view
<b><u>G.774.9 (02/98)</u></b>	Synchronous Digital Hierarchy (SDH) configuration of linear multiplex section protection for the network element view
<b><u>G.774.9 (02/01)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) - Configuration of linear multiplex-section protection for the network element view
<b><u>G.780 (11/94)</u></b>	Vocabulary of terms for synchronous digital hierarchy (SDH) networks and equipment
<b><u>G.780 (07/99)</u></b>	Vocabulary of terms for synchronous digital hierarchy (SDH) networks and equipment
<b><u>G.780/Y.1351 (07/04)</u></b>	Terms and definitions for synchronous digital hierarchy (SDH) networks
<b><u>G.781 (01/94)</u></b>	Structure of Recommendations on equipment for the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.782 (01/94)</u></b>	Types and general characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment
<b><u>G.783 (04/97)</u></b>	Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks
<b><u>G.783 (10/00)</u></b>	Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks
<b><u>G.783 (02/04)</u></b>	Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks
<b><u>G.784 (01/94)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management
<b><u>G.784 (07/99)</u></b>	Synchronous digital hierarchy (SDH) management
<b><u>G.803 (06/97)</u></b>	Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.803 (03/00)</u></b>	Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.813 (08/96)</u></b>	Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)

<b><u>G.813 (03/03)</u></b>	Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)
<b><u>G.825 (03/93)</u></b>	The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.825 (03/00)</u></b>	The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.829 (03/00)</u></b>	Error performance events for SDH Multiplex and regenerator sections
<b><u>G.829 (12/02)</u></b>	Error performance events for SDH multiplex and regenerator sections
<b><u>G.831 (08/96)</u></b>	Management capabilities of transport networks based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
<b><u>G.831 (03/00)</u></b>	Management capabilities of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>G.832 (10/98)</u></b>	Transport of SDH elements on PDH networks - Frame and multiplexing structures
<b><u>G.841 (07/95)</u></b>	Types and characteristics of SDH network protection architectures
<b><u>G.841 (10/98)</u></b>	Types and characteristics of SDH network protection architectures
<b><u>G.842 (04/97)</u></b>	Interworking of SDH network protection architectures
<b><u>G.861 (08/96)</u></b>	Principles and guidelines for the integration of satellite and radio systems in SDH transport networks
<b><u>J.132 (03/98)</u></b>	Transport of MPEG-2 signals in SDH networks
<b><u>M.1301 (01/01)</u></b>	General description and operational procedures for international SDH leased circuits
<b><u>M.2101 (06/00)</u></b>	Performance limits and objectives for bringing-into-service and maintenance of international SDH paths and multiplex sections
<b><u>M.2101 (06/03)</u></b>	Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international multi-operator SDH paths and multiplex sections
<b><u>M.2101.1 (04/97)</u></b>	Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international SDH paths and multiplex sections
<b><u>M.2102 (02/00)</u></b>	Maintenance thresholds and procedures for recovery mechanisms (protection and restoration) of international SDH VC trails (paths) and multiplex sections
<b><u>M.2110 (04/97)</u></b>	Bringing-into-service of international PDH paths, sections and transmission systems and SDH paths and multiplex sections
<b><u>M.2120 (04/97)</u></b>	PDH path, section and transmission system and SDH path and multiplex section fault detection and localization procedures

<b><u>M.2120 (02/00)</u></b>	PDH path, section and transmission system and SDH path and multiplex section fault detection and localization procedures
<b><u>O.172 (03/99)</u></b>	Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>O.172 (03/01)</u></b>	Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>O.172 (2001)</u></b>	Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>Amendment 1 (03/03)</u></b>	Amendment 1
<b><u>O.172 (04/05)</u></b>	Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)
<b><u>Q.837.1 (02/04)</u></b>	SDH-DLC functional requirements for the network and network element views
<b><u>X.85/Y.1321 (03/00)</u></b>	IP over SDH using LAPS
<b><u>X.85/Y.1321 (03/01)</u></b>	IP over SDH using LAPS