



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

INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS

Daniel Estuardo Camargo Quemé

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DANIEL ESTUARDO CAMARGO QUEMÉ

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonzo Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 22 de septiembre de 2014.



Daniel Estuardo Camargo Quemé

Guatemala 11 de agosto de 2015

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

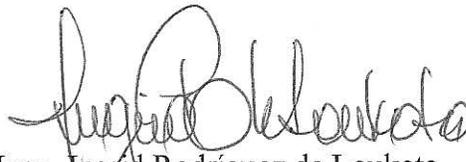
Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS**, del señor **Daniel Estuardo Camargo Quemé**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



Ref. EIME 63. 2015
Guatemala, 16 de AGOSTO 2015.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH
METROPOLITANAS**, del estudiante **Daniel Estuardo Camargo
Quemé**, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. **Carlos Eduardo Guzmán Salazar**
Coordinador Área Electrónica



SRO



REF. EIME 63. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; DANIEL ESTUARDO CAMARGO QUEMÉ, titulado: INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 25 DE SEPTIEMBRE 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE DOS REDES SDH METROPOLITANAS**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Estuardo Camargo Quemé**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente de fuerza, sabiduría y paciencia que me permite alcanzar esta meta.
- Mis padres** Amílcar Camargo y Vilma Quemé de Camargo, por su incondicional amor y apoyo durante todo este tiempo.
- Mis hermanos** Pablo y Vilma Camargo y Alejandra Alvarado, por sus consejos y ayuda en los momentos en que los necesitaba.
- Mis tíos** Adolfo Abiche y Gloria de Abiche, por acompañarme durante todo este tiempo dándome palabras de apoyo.
- Mis amigos** Mario Morales, Julio Xocoy, Marcos Monzón, Jerzon Culajay, Manuel Márquez, Óscar Guerra, Luis Castillo, Léster de León y Marvin Barrios, por brindarme su amistad incondicional en todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos profesionales y éticos.
Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota	Por su valiosa ayuda en la redacción del trabajo de graduación.
Mis compañeros de universidad	Por ser un apoyo importante durante estos años.
STG de Guatemala	Por estos años en los cuales me han permitido crecer y desempeñarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. SDH.....	1
1.1. Historia de SDH.....	1
1.2. Objetivos de SDH	2
1.3. Niveles jerárquicos de SDH.....	3
1.4. Estructura de la trama SDH.....	4
1.4.1. Cabecera de sección	6
1.4.1.1. Unidad administrativa	7
1.4.2. Área de transporte	7
1.5. Estructura de multiplexación en SDH.....	8
1.5.1. Coordenadas KLM.....	9
1.6. Sincronismo.....	10
1.6.1. Referencias de sincronización	10
1.6.2. Modos de operación	11
1.6.3. Selectores.....	11
1.6.4. Niveles de calidad.....	13
1.7. Ventajas y desventajas de SDH	14
1.8. Red SDH metropolitana.....	15
1.9. Funcionalidad de un elemento de red	16

1.9.1.	Multiplexación.....	16
1.9.2.	Terminación de línea.....	16
1.9.3.	Crossconexiones.....	17
1.10.	Elementos de red.....	17
1.10.1.	Regeneradores intermedios.....	17
1.10.2.	Multiplexores terminales.....	18
1.10.3.	Multiplexores de inserción y extracción.....	19
1.10.4.	Distribuidores multiplexores.....	19
1.11.	Topología de red.....	20
1.11.1.	Punto a punto sin protección.....	21
1.11.2.	Punto a punto con protección.....	21
1.11.3.	Estrella.....	22
1.11.4.	Anillo.....	23
1.11.5.	Malla.....	24
1.12.	Protección de red.....	25
1.12.1.	MSP.....	26
1.12.2.	MS-SP Ring.....	27
1.12.3.	MS-DP Ring.....	28
1.12.4.	SNCP Ring.....	29
1.13.	Servicios que transporta la red.....	29
2.	GESTIÓN DE RED.....	31
2.1.	Áreas funcionales de gestión.....	32
2.1.1.	Gestión de fallos.....	33
2.1.2.	Gestión de configuración.....	34
2.1.3.	Gestión de tarificación.....	34
2.1.4.	Gestión de prestaciones.....	35
2.1.5.	Gestión de seguridad.....	35
2.2.	Red de gestión de telecomunicaciones (TMN).....	36

2.2.1.	Arquitectura física	37
2.2.1.1.	Interfaces	39
2.2.2.	Modelo organizativo.....	41
2.2.3.	Modelo funcional.....	42
2.2.4.	Modelo de información	43
2.2.4.1.	Orientación a objetos.....	43
2.2.4.2.	Agentes y gestores	44
2.2.4.3.	CMIP.....	45
2.2.4.4.	Gestión de bases de información (MIB).....	47
2.3.	Monitoreo y control	47
2.4.	Centro de gestión de redes	49
2.4.1.	Recursos humanos.....	50
2.4.2.	Métodos de gestión	51
2.4.3.	Herramientas	51
3.	INTEGRACIÓN DE GESTIONES DE RED SDH.....	53
3.1.	Auditoría de redes	56
3.1.1.	Elementos de red.....	56
3.1.1.1.	Familias de equipos.....	56
3.1.1.2.	Hardware instalado.....	58
3.1.1.3.	Software instalado	59
3.1.2.	Base de datos secundaria	60
3.1.3.	Inconsistencias	60
3.2.	Integración de esquema gráfico de red	62
3.3.	Migración de servicios a base de datos integrada.....	65
3.3.1.	Configuración de equipos <i>gateway</i>	65
3.3.2.	Puesta en uso de elementos de red	67
3.3.3.	Puesta en uso de troncales físicas	68

3.3.4.	Habilitar troncales virtuales	69
3.3.5.	Migración de circuitos de bajo orden	69
3.4.	Eliminación de sistema de gestión secundario.....	71
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES		75
BIBLIOGRAFÍA.....		77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de la trama SDH STM-N	5
2.	Esquema de bytes en cabecera de sección	6
3.	Estructura de multiplexación SDH.....	9
4.	Sistema de coordenadas KLM	9
5.	Esquema del generador de temporización del equipo.	12
6.	Esquema de transmisión de sincronía	14
7.	Representación de un regenerador.....	18
8.	Representación de un multiplexor terminal	18
9.	Representación de un multiplexor de inserción y extracción.....	19
10.	Representación de distribuidor multiplexor	20
11.	Topología punto a punto	21
12.	Topología estrella.....	22
13.	Topología anillo	23
14.	Topología malla.....	24
15.	Modelo de sistema de gestión de red.....	33
16.	Modelo de arquitectura física de TMN.....	40
17.	Modelo funcional	43
18.	Esquema a bloques agente-gestor	45
19.	Redes SDH gestionadas independientemente.....	55
20.	Esquema de gestión de una red SDH	58
21.	Esquema gráfico de una sección de una red	63
22.	Configuración de equipos <i>gateway</i>	66
23.	Integración de gestión de redes SDH metropolitanas	72

TABLAS

I.	Tasas de transmisión SDH	4
II.	Resumen de bytes de la cabecera STM-N	6
III.	Niveles de calidad	13

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Gbps	Gigabits por segundo
KHz	Kilohertz
Kbps	Kilobits por segundo
Km	Kilómetro
Mbps	Megabits por segundo
μs	Microsegundo

GLOSARIO

ADM	Multiplexor de extracción e inserción.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
AU-n	Unidad administrativa formada por un contenedor virtual y un puntero.
AUG	Grupo de unidades administrativas.
<i>Backup</i>	Copia de seguridad, total o parcial, de información almacenada en un medio externo de respaldo.
Bit	Unidad básica de información, equivalente a uno de entre dos estados lógicos igualmente probables.
Byte	Conjunto de información formado por 8 bits.
C-n	Contenedor, unidad básica de empaquetamiento para las señales tributarias.
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.
CMIP	Protocolo de información de gestión común.

CMIS	Servicios de interoperabilidad de gestión de contenidos.
Crossconexión	Matriz de conmutación de tramas a través de contenedores virtuales, que realiza interconexión pasando por el plano de multiplexación, y adaptando la jerarquía hacia los puertos de salida de equipos SDH.
DCN	Red de comunicación de datos establecida en la arquitectura física de la red de gestión de telecomunicaciones.
DXC	Distribuidores multiplexores en la red SDH para la interconexión sin bloqueos de señales a un nivel jerárquico igual o inferior.
Demultiplexor	Dispositivo que recibe a través de un medio de transmisión compartido, una señal compleja multiplexada y separa las distintas señales integradas hacia distintas salidas.
<i>End-point</i>	Puntos terminales de un tramo lógico o físico en una red de comunicaciones.
Firmware	Bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos grabado en un chip, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Gateway	Puerta de enlace de una red de equipos hacia una red contigua.
GDMO	Notación de lineamientos para la definición de objetos gestionados.
Hardware	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen un sistema informático.
ID	Número de identificación de elemento de red dentro de un sistema de gestión.
IP	Protocolo de internet.
ITU-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas.
MIB	Base de información gestionada, contiene información jerárquica estructurada de los dispositivos gestionados de una red.
Multiplexor	Dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido.
NSAP	Etiqueta de identificación para los elementos de red utilizados en la creación de redes OSI.
OS	Sistema operativo.

OSI	Interconexión de sistemas abiertos, documento de cuatro partes que contiene una descripción formal de una arquitectura de red de ordenadores.
PDH	Jerarquía digital plesiócrona para la transmisión de flujo de datos.
SAN	Red de área de almacenamiento integral conectada a la red de comunicación de un proveedor.
SDH	Jerarquía digital síncrona para la transmisión de flujo de datos por medios ópticos o eléctricos.
SNMP	Protocolo simple de administración de red, facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.
Software	Conjunto de programas y rutinas que permiten a un elemento de red realizar determinadas tareas.
SONET	Red óptica síncrona para transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica.
STM	Módulo de transporte síncrono definido para los niveles jerárquicos de transmisión SDH.
STS	Señal de transporte síncrono definido para los niveles jerárquicos de transmisión SONET.

TDM	Multiplexación por división de tiempo para la transmisión de señales digitales.
TMN	Red de gestión de telecomunicaciones, introducido por la ITU-T para el desarrollo de entornos de gestión distribuidos y heterogéneos.
TU	Unidad tributaria, formada por un contenedor virtual y un puntero en la estructura de multiplexación SDH.
TUG	Grupo de unidades tributarias, formado de la multiplexación de unidades tributarias.
VC	Contenedor virtual, formado por una señal PDH tributaria y un contenedor C-4, C-3, C-2, C-12 o C-11.
Workstation	Computador de altas prestaciones destinado a la interacción directa con los elementos de red, de forma local o a través de la red de gestión.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se trataron los aspectos más importantes y determinantes para lograr la integración de dos redes SDH, de un mismo fabricante, hacia un mismo sistema de gestión.

En el primer capítulo se da a conocer la historia, evolución y arquitectura del sistema SDH, así como las ventajas que representa sobre PDH. De igual manera se presentan los equipos que conforman una red SDH, sus funcionalidades, topología de implementación y métodos de protección de tráfico.

En el segundo capítulo se presenta la gestión de una red SDH definida por la ITU-T. Se da a conocer la funcionalidad de la gestión, el control y monitoreo que se utiliza y se muestra el esquema de operación de un centro de gestión de red.

En el tercer capítulo se explica el procedimiento propuesto para lograr la integración de gestión de dos redes SDH metropolitanas. Se describen los pasos a seguir con el fin de permitir el mínimo impacto hacia ambas redes del proveedor de servicios.

OBJETIVOS

General

Mostrar los beneficios que conlleva integrar dos redes SDH gestionadas de manera independiente, en un mismo sistema de gestión.

Específicos

1. Presentar el modelo de una red SDH en un área metropolitana.
2. Describir el uso de un sistema de gestión como medio de control de varios elementos de red.
3. Plantear los pasos para llevar a cabo la integración de dos redes SDH a un solo sistema de gestión.

INTRODUCCIÓN

A través de los años, con el crecimiento de la demanda por parte de los clientes, así como el avance en el desarrollo de nuevas tecnologías, las redes SDH han crecido en proporción a la demanda exigida, haciendo uso de diversos equipos de diferentes fabricantes. En el área metropolitana de la ciudad de Guatemala es donde se concentra la mayor cantidad de equipos pertenecientes a distintos proveedores, siendo estos gestionados por los operadores de red a través de sistemas de gestión individuales de cada fabricante.

La consolidación de las grandes empresas proveedoras de servicios de telefonía en el país propició, que pequeñas empresas de servicios de transporte SDH fueran adquiridos por las de mayor capital. Con esto se inició un proceso de integración tanto a nivel administrativo como operativo de los servicios prestados por ambas. Durante la integración operativa se originó la aparición de redes pertenecientes a un mismo fabricante interconectadas entre sí, pero gestionadas de forma independiente.

Con el fin de reducir costos de operación, posibles puntos de falla y aumentar el control de la red, en este trabajo se proponen una serie de pasos para poder llevar a cabo la integración de gestión de dos redes SDH metropolitanas hacia un mismo sistema de gestión.

1. SDH

SDH, por sus siglas en inglés para Synchronous Digital Hierarchy, se refiere a la jerarquía digital síncrona, la cual define protocolos para la transmisión de datos por medio de fibra óptica.

1.1. Historia de SDH

La jerarquía digital síncrona vio sus inicios en 1985, cuando Bellcore (Bell Communication Research), la división de investigación de Bell, propone al comité de estándar ANSI (American National Standards Institute) normalizar las velocidades mayores a 140 Mbps, las cuales eran propietarias de cada empresa según las utilizaran. Esta normalización se dio a conocer como SONET (Synchronous Optical Network) basada en el antecedente SYNTRAN (Synchronous Transmission Network) que se desarrolló en los Estados Unidos de América durante la década de 1970.

En 1986, la ANSI propuso a la CCITT (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony), más tarde renombrada como ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunication Union) la Norma T1.105 para la jerarquía digital SONET.

Para 1988, la CCITT realizó cambios para unificar las distintas redes digitales, introduciendo la velocidad de 155,520 Kbps y generando las recomendaciones para SDH: G.707, G.708 y G.709.

Con SDH se pretendió proporcionar una plataforma que, basada en determinación de canales en función de su ubicación temporal en tramas transmitidas de forma síncrona, pudiese soportar nuevas clases de servicios (datos, imágenes digitalizadas, entre otros), así como otras funciones y propiedades como la flexibilidad y escalabilidad de la capacidad de transmisión, la implementación de redes y sistemas más robustos, y a la vez, reconfigurables frente a fallos.

Las principales diferencias entre SDH y SONET se pueden resumir en:

- La tasa de transmisión del primer nivel jerárquico de SDH fue establecida en 155,520 Mbps, tres veces el valor del primer nivel considerado por SONET (51,840 Mbps). Esto con la finalidad de ser capaz de acomodar una señal E4 (139,263 Mbps) de uso común en el sistema PDH (Plesiochronous digital hierarchy) Europeo.
- La interfaz física de SDH fue definida para 3 medios de transmisión distintos, siendo estos: fibra óptica, radioenlaces y cable coaxial de cobre. Mientras SONET, como su nombre lo indica, fue definida únicamente para fibra óptica.

1.2. Objetivos de SDH

- La correcta interconexión entre diferentes operadores por medio de la definición de estándares de señalización, con respecto a la longitud de onda, temporización, estructura de la trama, entre otros.

- Unificar los sistemas digitales de transmisión europeo, japonés y norteamericano que utilizaban como base una señal de 64 Kbps, pero combinados de forma diferente en cada sistema.
- Proporcionar un mecanismo para la multiplexación y demultiplexación de varios canales digitales.
- Establecer mejoras en las operaciones de administración y mantenimiento de la red.

1.3. Niveles jerárquicos de SDH

Las tramas de los niveles jerárquicos de SDH son llamados módulos de transporte síncrono de nivel N, o STM-N (Synchronous Transport Module of level N) donde $N = 1, 4, 16, 64, 256$. La tasa de transmisión de cada nivel está dada por la multiplicación de la tasa del nivel base, STM-1 (155,520 Mbps), por N.

Para SONET la denominación de las tramas de cada nivel jerárquico es Señal de Transporte Síncrono de nivel N, o STS-N (Synchronous Transport Signal of level N) para $N = 1, 3, 12, 48, 192, 768$. La tasa de transmisión base está dada por STS-1 (51,840 Mbps), un tercio de la tasa de un STM-1.

Los valores de las tasas de transmisión de los niveles superiores se obtienen multiplicando la tasa base por N, como sucede con SDH. En el sistema SONET la trama es más conocida como portadora óptica de nivel N, u OC-N (Optical Carrier of level N).

Las tasas de transmisión equivalentes entre ambos sistemas se enlistan en la tabla I.

Tabla I. **Tasas de transmisión SDH**

SDH	SONET	TASA DE TRANSMISIÓN
STM-1	STS-3/OC-3	155,520 Mbps
STM-4	STS-12/OC-12	622,080 Mbps
STM-16	STS-48/OC-48	2,488320 Gbps
STM-64	STS-192/OC-192	9,953280 Gbps
STM-256	STS-768/OC-768	39,813120 Gbps

Fuente: elaboración propia.

1.4. Estructura de la trama SDH

Las señales de todos los niveles jerárquicos de SDH están organizadas en tramas de una misma duración igual a 125 μ s, la cual corresponde al período de muestreo de una señal telefónica (8 KHz). De esta manera, cada byte en una posición específica dentro de la trama puede llevar un canal telefónico o su equivalente en un canal digital con capacidad de 64 Kbps. La trama básica SDH se representa como una matriz de bytes de 270 columnas por 9 filas, dando un total de 2430 bytes para un STM-1. Los bytes de la matriz son transmitidos fila por fila, de izquierda a derecha, con el bit más significativo de cada byte primero.

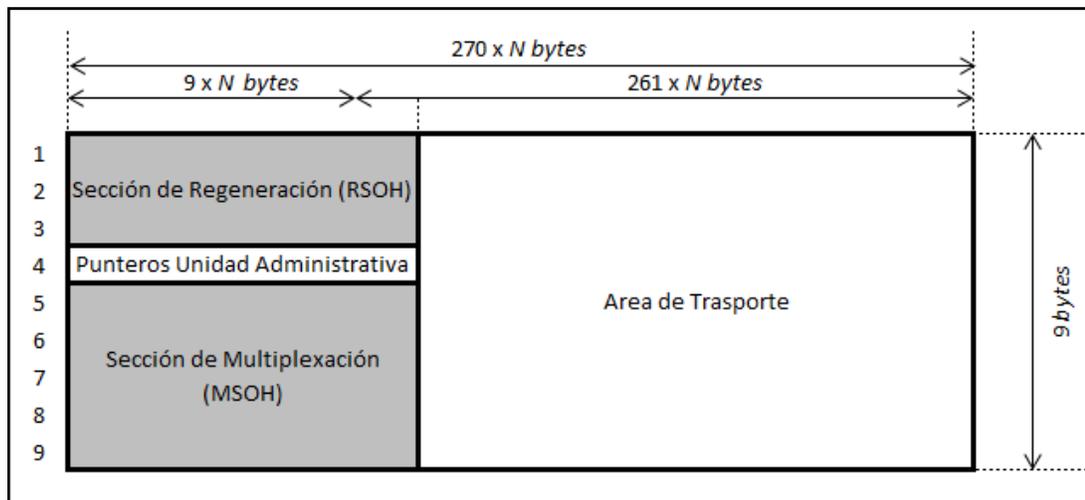
La trama SDH se divide en dos zonas:

- Cabecera de sección, SOH (Section Overhead): localizada en las primeras 9 columnas de la trama. Dividida a su vez en:

- Cabecera de sección de regeneración, RSOH por sus siglas en inglés (Regenerator Section Overhead): localizada de la fila 1 a la fila 3.
- Cabecera de sección de multiplexación, MSOH por sus siglas en inglés (Multiplexer Section Overhead): localizada de la fila 5 a la fila 9.
- Punteros de la Unidad Administrativa: localizados en la fila 4.
- Área de transporte: localizada en las restantes 261 columnas.

El esquema general de la trama básica para SDH, STM-N se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Esquema de la trama SDH STM-N**



Fuente: elaboración propia, con base en figura 6-6 / ITU-T G.707.

Figura 2. **Esquema de bytes en cabecera de sección**



Fuente: elaboración propia, con base en figura 9-3 / ITU-T G.707.

1.4.1. Cabecera de sección

Los bytes localizados en la cabecera de sección (SOH) se utilizan para la comunicación entre elementos adyacentes de equipos sincrónicos de una red. Además de su uso para la sincronización de la trama, se han asignado en ellos parámetros de gestión y administración.

La tabla II lista las funciones de los bytes en la cabecera de sección.

Tabla II. **Resumen de bytes de la cabecera STM-N**

Sección de regeneración (RSOH)		
A1, A2	6 x N bytes	Alineamiento de trama.
J0	N bytes	Indicador de sección de regeneración.
B1	1 byte	Monitoreo de la calidad, bytes de paridad.
E1	1 byte	Circuito de voz para mantenimiento.

Continuación de la tabla II.

F1	1 byte	Canal de usuario (Mantenimiento).
D1 - D3	3 bytes	192 Kbps para canal de comunicación de datos de sección de regeneración (RS-DCC).
Sección de multiplexación (MSOH)		
B2	3 x N bytes	Monitoreo de la calidad, bytes de paridad.
K1,K2 (bits 1-5)	2 bytes	Control de la conmutación automática de protección (APS).
K2 (bits 6-8)		Multiplex Section Remote Defect Indication (MS-RDI).
E2	1 byte	Circuito de voz para mantenimiento.
D4 - D12	9 bytes	576 Kbps para canal de comunicación de datos de sección de multiplexación (MS-DCC).
S1 (bits 5-8)	1 byte	Indicador de estatus de sincronización.
M1	1 byte	Reconocimiento de errores de transmisión en el extremo distante. (MS-REI)
Δ		Bytes dependientes del medio de transmisión empleado.
x,*		Reservados para uso nacional.

Fuente: BREGNI, Stefano. *Synchronization of digital telecommunications networks*. p. 61.

1.4.1.1. Unidad administrativa

Es un conjunto de intervalos de tiempo, o bytes, en posiciones fijas en la trama STM-N que identifica la posición dentro del área de transporte donde inicia el primer octeto de la trama.

1.4.2. Área de transporte

Es la sección de 2349 bytes disponibles para el transporte de datos en la trama SDH. Donde se alojan los datos según un esquema de multiplexación definido para SDH.

1.5. Estructura de multiplexación en SDH

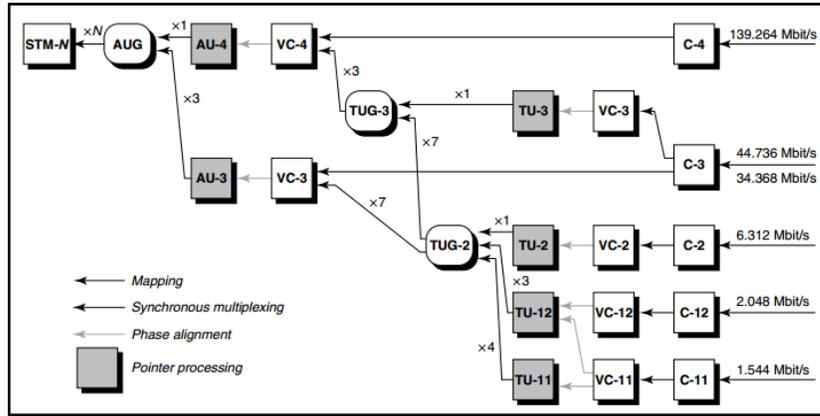
La unidad básica de empaquetamiento para los canales tributarios es el contenedor o C-n (*Container*). Cada señal tributaria PDH tiene su propio contenedor designado: C-4 para señales de 140 Mbps, C-3 para 45 y 35 Mbps, C-2 para 2 Mbps y C-1 para 1,5 Mbps. La capacidad de estos contenedores es mayor a la de la señal debido a la justificación que permite la eliminación de desviaciones temporales entre las señales PDH.

Un contenedor virtual o VC-n (*Virtual container*) está conformado por un contenedor y la tara de trayecto, o POH (*Path overhead*), esta última se encarga de monitorear la calidad e indicar el tipo de contenedor. El VC es la entidad de carga útil que viaja sin cambio alguno a lo largo de la red y es creada y desmantelada en cada terminación o punto de acceso del servicio de transporte. Una vez definido el contenedor virtual, se debe indicar la posición fija del mismo en la trama. Esto se logra por medio de un puntero añadido al VC. A esta se le conoce como unidad administrativa o AU-n (*Administrative unit*), o también unidad tributaria o TU-n (*Tributary unit*).

Una vez creada la nueva unidad, por medio de un proceso de multiplexación de bytes de un conjunto de TU's, se obtiene una estructura denominada Grupo de unidades tributarias o TUG-n (*Tributary units group*). De igual forma, una o más unidades administrativas forman un grupo de unidades administrativas o AUG (*Administrative units group*). Este proceso es totalmente síncrono. Información adicional es agregada a la estructura a fin de permitir su transporte por el medio físico, siendo esta SOH. El grupo de unidades administrativas junto con SOH conforman la trama STM-N.

La figura 3 muestra el proceso de multiplexación de una señal SDH.

Figura 3. Estructura de multiplexación SDH

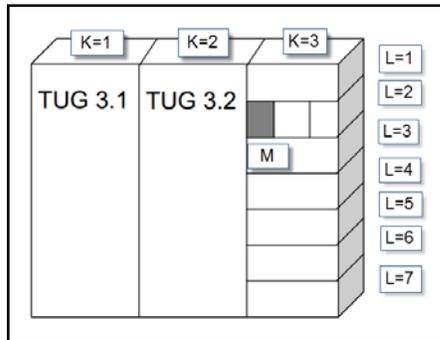


Fuente: BREGNI, Stefano. *Synchronization of digital telecommunications networks*. p. 62.

1.5.1. Coordenadas KLM

Cada contenedor es ubicado dentro del área de transporte con base a un sistema de coordenadas KLM, el cual define el TUG-3 (K), TUG-2 (L) y VC (M) en donde el contenedor es alojado.

Figura 4. Sistema de coordenadas KLM



Fuente: elaboración propia.

1.6. Sincronismo

Para el correcto funcionamiento, una red SDH necesita una fuente de sincronía para los elementos que componen la red. A pesar de que, cada elemento es capaz de generar una señal de reloj de sincronismo, la mejor práctica es utilizar una fuente externa de referencia; esta fuente suele ser un reloj atómico capaz de proporcionar una señal de gran calidad, la cual se transmitirá a través de la red.

1.6.1. Referencias de sincronización

- Referencias externas:
 - T1: representa una señal STM-N que entra al elemento de red y puede ser usada como referencia de sincronía.
 - T2: representa una señal de 2048 Kbps que entra al elemento de red y puede ser usada como referencia de sincronía.
 - T3: representa una señal de 2048 KHz que entra al elemento de red y puede ser usada como referencia de sincronía.
- Referencias internas:
 - T0: representa el reloj con que se sincroniza al elemento de red. Se origina en el oscilador interno del elemento de red y puede utilizar una de las señales T1, T2 o T3 para genera la señal.

- T4: representa la señal de salida de 2048 KHz del elemento de red que puede ser utilizada para la sincronía de elementos externos.

1.6.2. Modos de operación

- Enganchado: el oscilador interno del elemento de red está controlado por alguna de las referencias externas T1, T2, o T3. Este es el modo nominal de funcionamiento del equipo.
- Retención: si el oscilador interno pierde la referencia externa, es capaz de mantener la sincronía interna con el valor almacenado en su memoria durante un lapso de tiempo.
- Oscilación libre: entra en funcionamiento cuando las señales de sincronía externa se pierden y el oscilador interno no es capaz de continuar con el valor almacenado en su memoria y recurre a su reloj interno.

1.6.3. Selectores

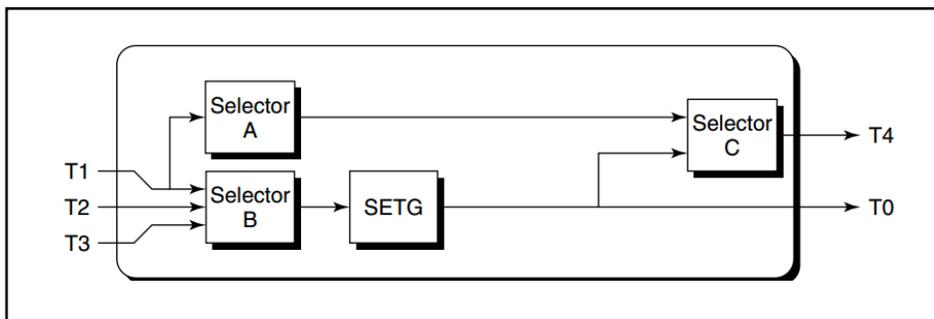
- Selector A: su función es seleccionar entre las distintas señales tipo T1, siendo la seleccionada la que se entregará en T4 si el selector C lo permite.
- Selector B: su función es seleccionar entre las señales tipo T1, T2 o T3 que será utilizada para generar la señal T0.
- Selector C: su función es seleccionar entre las señales que se entregarán en T4. Las opciones son T0 o T1.

Para la elección de la señal disponible los selectores A y B utilizan 3 criterios:

- Nivel de calidad: el elemento de red utilizará la referencia de sincronía que contenga la calidad más alta.
- Prioridad: si el elemento de red detecta más de una señal de entrada con la más alta calidad disponible, seleccionará como referencia aquella que tenga la mejor prioridad.
- Comandos externos: por intervención de un operador de red se puede seleccionar intencionalmente una fuente de sincronismo, ya sea para pruebas o mantenimiento.

La figura 5 muestra el funcionamiento de los selectores de sincronismo en un elemento de red.

Figura 5. **Esquema del generador de temporización del equipo**



Fuente: BREGNI, Stefano. *Synchronization of digital telecommunications networks*. p. 125.

1.6.4. Niveles de calidad

- PRC: Primary Reference Clock, por sus siglas en inglés, definida por la recomendación G.811.
- SSU-T: Transit Station Synchronization Unit, por sus siglas en inglés, definida en la recomendación G.812.
- SSU-L: Local Station Synchronization Unit, por sus siglas en inglés, definida en la recomendación G.812.
- SEC: Synchronization Equipment Clock, por sus siglas en inglés, definida en la recomendación G.813.
- DNU: Do not use, por sus siglas en inglés, indica que la señal no debe ser utilizada como referencia de sincronismo.

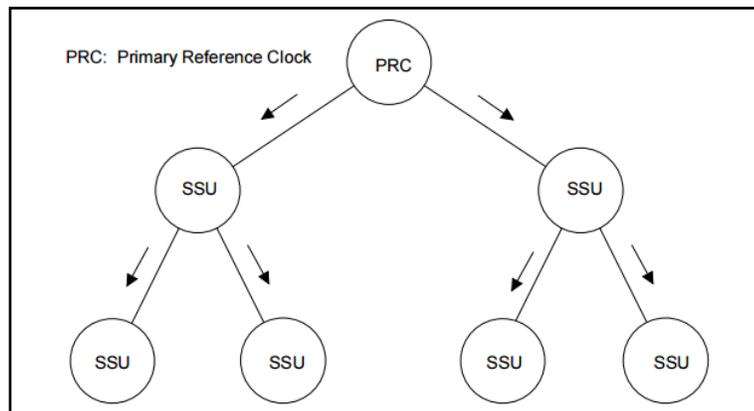
La tabla III muestra el orden de los niveles de calidad en las señales de sincronismo.

Tabla III. Niveles de calidad

Nivel de Calidad	Orden
PRC (G.811)	1
SSU-T (G.812)	2
SSU-L (G.812)	3
SEC (G.813)	4
DNU	Peor calidad

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Esquema de transmisión de sincronía**



Fuente: elaboración propia.

1.7. **Ventajas y desventajas de SDH**

A continuación se enlistan algunas de las ventajas que SDH proporciona a la transmisión de datos:

- Altas velocidades de transmisión; permite velocidades hasta 10 Gbps en los sistemas de transmisión modernos.
- Acceso directo a las señales de cualquier nivel sin necesidad de demultiplexar en todos los niveles.
- Fiabilidad: cuenta con mecanismos automáticos de protección y recuperación ante fallos de la red.
- Reducción de costos debido a la estandarización de interfaces en los equipos, la integración de las funciones de transmisión, multiplexación y

demultiplexación en un solo equipo y la facilidad de integración de redes SDH y SONET, bajo diferentes proveedores.

Entre las desventajas que presenta SDH a la transmisión de datos están:

- La pérdida de eficiencia en el aprovechamiento de la trama de transmisión al ser la cabecera de sección demasiado grande.
- La dependencia absoluta de sincronismo en todos los elementos de red referenciándolos hacia una misma fuente de sincronía.
- El máximo ancho de banda alcanzado, comparado con los anchos de banda permitidos en una red DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

1.8. Red SDH metropolitana

Debido al crecimiento de la demanda de tráfico de voz y datos que se generó en las áreas metropolitanas, SDH se convirtió en la plataforma ideal para el transporte de los mismos, permitiendo que el ancho de banda disponible pudiera ser expandido conforme fuera requerido a fin de satisfacer los nuevos requerimientos de la red.

Se puede definir como una red de transporte con función de enlace entre una red de largo alcance y una red de acceso. De esta manera, en un extremo de la red se encontrará tráfico agregado de alta velocidad que es insertado o extraído de la red de transporte, y en el otro extremo tráfico con velocidades moderadas e incluso a niveles compatibles de usuario final.

En principio, una red metropolitana se caracteriza por lo siguiente:

- Una región comprendida entre 10 a 100 km
- Interconexión de red de acceso con red de largo alcance
- Topología de anillo
- Alta capacidad de transporte de tráfico de datos

Para su funcionamiento, una red SDH se construye a partir de equipos capaces de regenerar, multiplexar, insertar y extraer tráfico según los requerimientos de la red.

1.9. Funcionalidad de un elemento de red

Los elementos de red cumplen funciones básicas a fin de permitir la transmisión de datos en la misma. Se puede definir dichas funciones de la siguiente manera.

1.9.1. Multiplexación

Es combinar distintas señales de baja velocidad a una única señal de alta velocidad, permitiendo la optimización de la infraestructura física. En los sistemas de transmisión síncronos se utiliza la multiplexación por división de tiempo o TDM (Time Division Multiplexing).

1.9.2. Terminación de línea

Es tomar una señal digital tributaria, multiplexarla y transmitirla a una tasa de velocidad mayor en un sentido de la transmisión. En el sentido inverso, la

señal de alta velocidad es demultiplexada y recuperada la señal tributaria original.

1.9.3. Crossconexiones

En una red síncrona establecen interconexiones semipermanentes entre distintos canales en un elemento de red, permitiendo que el tráfico sea enrutado a nivel de contenedores virtuales. Las interconexiones son realizadas por un operador a través de un sistema de gestión de red, siendo modificada dicha interconexión en la medida que el flujo de tráfico o diseño de red así lo requiera.

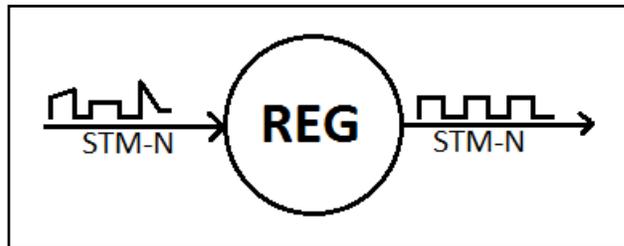
1.10. Elementos de red

La ITU-T, a través de la recomendación G.783, estandariza los componentes y la metodología que deben emplearse para especificar la funcionalidad de los elementos de red en la jerarquía digital síncrona (SDH). Estos elementos se conocen como equipos regeneradores intermedios o IR (Intermediate Regenerators), multiplexores terminales o TM (Terminal Multiplexor), multiplexores de inserción y extracción o ADM (Add Drop Multiplexers) y distribuidores multiplexores o DXC (Digital Cross-Connect).

1.10.1. Regeneradores intermedios

Su función principal consiste en regenerar la amplitud de la señal digital de entrada, así como también la señal de reloj que viaja en la trama de bits. Estas señales son atenuadas y distorsionadas a lo largo de la fibra óptica en la cual viajan, dando lugar a que la tasa de errores se incremente cuanto mayor sea la distancia recorrida. Por esta razón, los regeneradores son utilizados entre equipos terminales separados por un largo tramo.

Figura 7. **Representación de un regenerador**

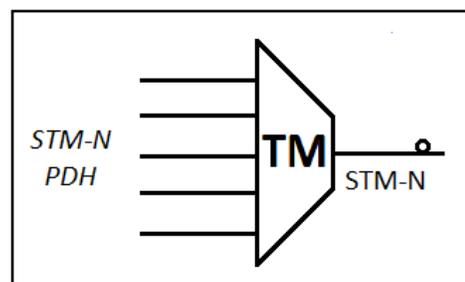


Fuente: elaboración propia.

1.10.2. Multiplexores terminales

Son los equipos encargados de multiplexar las señales plesiócronas o síncronas en sus interfaces tributarias de entrada para dar forma a la trama STM-N presente en las interfaces agregadas de salida del equipo. De igual forma toman una señal STM-N y la demultiplexan a señales plesiócronas o síncronas.

Figura 8. **Representación de un multiplexor terminal**

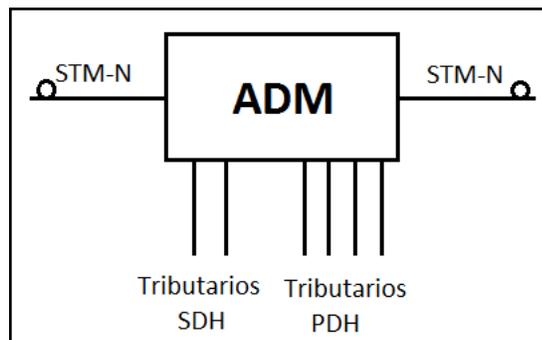


Fuente: elaboración propia

1.10.3. Multiplexores de inserción y extracción

Son equipos capaces de extraer e insertar señales plesiócronas o síncronas de ambas señales agregadas STM-N que recibe en cada sentido de la transmisión. Tienen la capacidad de permitir el paso de señales tributarias entre señales agregadas, así como acceder a los VC's de la señal agregada sin la necesidad de demultiplexar el STM-N. Esta capacidad de enrutamiento que proveen los equipos ADM permite que la función de crossconexión pueda ser distribuida por la red.

Figura 9. Representación de un multiplexor de inserción y extracción



Fuente: elaboración propia.

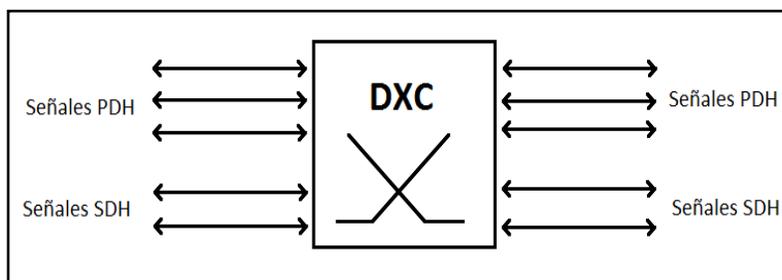
1.10.4. Distribuidores multiplexores

Son los equipos diseñados para permitir la interconexión de señales entre niveles iguales o inferiores sin interferir su paso entre cualquier puerto de entrada y salida. Los DXC son los puntos que permiten la mayor flexibilidad a una red SDH, soportando señales plesiócronas y síncronas en diversos niveles y otorgando al operador de red la posibilidad de realizar de forma remota

interconexiones a nivel de VC sin la necesidad de multiplexar o demultiplexar la señal completa.

En general, se utilizan 2 clases de DXCs: DXC 4/4 y DXC 4/3/1. El primero acepta señales plesiócronas de categoría E4 y señales síncronas STM-N, permitiendo la crossconexión a nivel de VC-4s. El DXC 4/3/1 acepta señales de cualquier categoría tanto PDH como SDH, permitiendo la crossconexión de señales en cualquier nivel VC.

Figura 10. **Representación de distribuidor multiplexor**



Fuente: elaboración propia.

1.11. Topología de red

En SDH, la topología de red a utilizar se determina con base en la cantidad, costo de implementación y tipo de datos que se pretendan transportar.

La clase de topología elegida con base en estos requerimientos puede ser: punto a punto, estrella, anillo, malla o una combinación de las mismas; esto último, dando lugar a una mayor flexibilidad a la transmisión de datos en la red según la planificación del operador de red.

1.11.1. Punto a punto sin protección

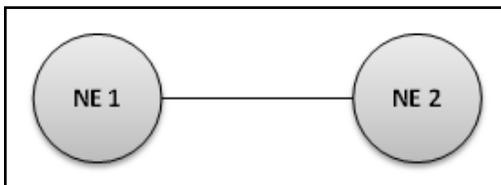
Este tipo de topología es la más sencilla de implementar, y a la vez, la que representa menor costo. Consta de 2 equipos SDH en cada extremo del tramo de transmisión siendo estos multiplexores terminales, multiplexores de inserción y extracción o la combinación de ambos. Puede haber un equipo regenerador si la distancia entre equipos así lo requiriera.

El uso de esta topología es ideal en los casos en que el tráfico no tiene alta prioridad o bien la carga de tráfico es pequeña. En la actualidad es utilizada en gran manera como punto terminal y de acceso para redes de mayor tamaño y densidad de tráfico.

1.11.2. Punto a punto con protección

Este tipo de topología hace uso de 2 medios físicos por caminos distintos para establecer un enlace entre 2 equipos. Su uso se aplica mayormente a pequeñas ciudades donde los medios físicos están separados por poca distancia y a la vez, la prioridad de tráfico requiere un punto de redundancia en caso de un fallo en el medio.

Figura 11. Topología punto a punto



Fuente: elaboración propia.

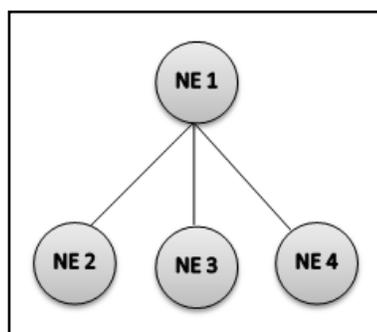
1.11.3. Estrella

Esta clase de topología involucra una mayor cantidad de elementos de red en una configuración que coloca a uno de los elementos como un nodo central y al resto conectados directamente hacia él. Sin embargo, ninguno de los elementos periféricos está conectado uno con otro, pudiendo ser considerada una conexión punto a punto entre el elemento de red central y cada uno de los demás que conforman la red.

Esta topología permite que todo el tráfico se concentre en un solo elemento de red y sea este el que maneje el ancho de banda en su totalidad y el enrutamiento del mismo. Sin embargo, puede ocurrir una saturación en el mismo si la cantidad de tráfico sobrepasa el diseño original de la red y una pérdida completa del tráfico si el equipo central es retirado o sufre una falla grave.

La figura 12 es una representación de la interconexión de equipos en una topología de estrella.

Figura 12. **Topología estrella**



Fuente: elaboración propia.

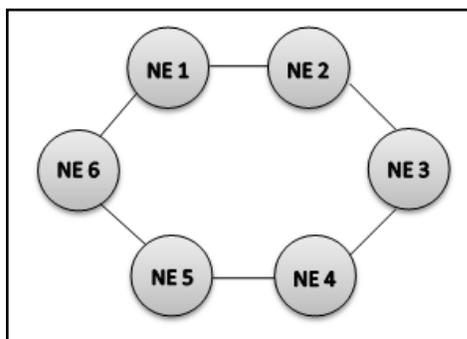
1.11.4. Anillo

Esta clase de topología es la de mayor uso en las redes SDH actuales, al ser considerada apta para alta capacidad de tráfico. La red consta de un conjunto de elementos de red unidos por enlaces punto a punto hasta formar un anillo. Los elementos utilizados en esta topología, generalmente son multiplexores de inserción y extracción, que por medio de un enlace punto a punto de menor capacidad pueden tributar tráfico hacia equipos de acceso.

De igual forma, uno o más de los elementos que conforman el anillo pueden estar interconectados hacia otro anillo vecino a fin de permitir el tráfico entre ambos anillos. A estos equipos se les conoce como equipos cabecera.

La capacidad de esta topología de sobreponerse a las fallas por medio de la protección de los enlaces entre elementos, por distintos medios, es la principal ventaja que otorga a la red. Sin embargo, genera la desventaja de que solo la mitad de la red es utilizada de forma eficiente para el transporte del tráfico, ya que la otra mitad se reserva para la protección del mismo.

Figura 13. **Topología anillo**



Fuente: elaboración propia.

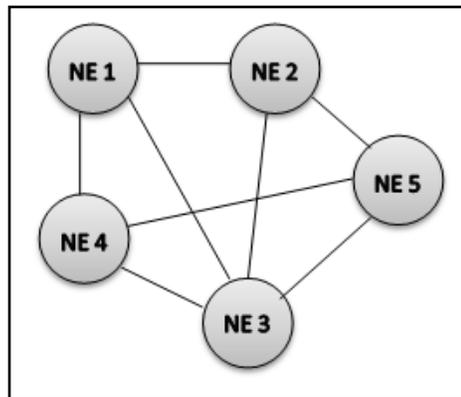
1.11.5. Malla

Es la clase de topología de mayor uso en el núcleo de la red al, proporcionar mecanismos de protección y restauración más económicos que en el caso de la topología de anillo. La topología se forma a partir de enlaces punto a punto que interconectan DXCs unos con otros.

Ante una falla en un enlace, el DXC afectado conmuta las conexiones afectadas hacia otro enlace en funcionamiento con capacidad disponible. Esto permite una mayor flexibilidad en la capacidad de la fibra, a diferencia de la topología en anillo donde se requiere tener la mitad de la capacidad del anillo destinada a la protección del mismo.

La mayor cantidad de enlaces entre los equipos le confiere a la red una mayor supervivencia ante las fallas, sean estas en un equipo, un enlace o ambos. No siendo así con los anillos que solo pueden restaurar un nodo o enlace a la vez.

Figura 14. **Topología malla**



Fuente: elaboración propia.

1.12. Protección de red

Ante una falla o avería de uno o varios elementos en la red, se contempla proveer una ruta alterna al tráfico de datos a manera de evitar la mayor afectación posible. Esto se logra mediante la redundancia entre enlaces, que es el exceso de capacidad en la red contemplada para proveer una ruta alterna. Debido a la alta capacidad de tráfico que los enlaces SDH pueden transportar, un fallo en un enlace puede afectar, en gran manera toda la red, por lo tanto contar con una red capaz de sobreponerse a una falla de manera automática es de suma importancia.

A manera de garantizar la supervivencia de la red se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia de la red: se aplican procedimientos para que el fallo en un enlace sea reemplazado por otro en funcionamiento, así como rutas alternas ante una posible falla total de un equipo. 2 mecanismos se utilizan para asegurar que los servicios puedan ser recuperados:
 - Restauración: una vez se detecta la pérdida del servicio, el tráfico es reenrutado por una ruta alternativa utilizando capacidad libre entre nodos. Este proceso puede durar varios minutos, mientras los algoritmos predefinidos definen la nueva ruta, así como son realizadas las nuevas crossconexiones digitales.
 - Protección: es preferible al uso de la restauración bajo el hecho de que actúa de manera más inmediata al contar con mecanismos automáticos en los elementos de red. Se tiene una capacidad

preasignada para la protección de enlaces, por lo cual la misma está siempre disponible ante cualquier eventualidad.

- Protección de equipo: la protección puede establecerse directamente en el equipo de red mediante la duplicidad de tarjetas, alimentación, unidades de tributación de tráfico, sistemas de sincronismo, entre otros.

Entre las posibles fallas en una red se tiene:

- Desastres naturales
- Fallas en suministro de alimentación eléctrica
- Corte de fibras ópticas
- Finalización de la vida útil de componentes en equipos
- Error humano en mantenimientos

A continuación se enlistan las protecciones habituales para la red.

1.12.1. MSP

Multiplex section protection, por sus siglas en inglés: proporciona protección entre 2 elementos de red conectados por medio de un enlace físico. La protección puede ser 1:1, 1: N o bien M:N. En el caso de MSP 1:1 cada línea de transmisión se encuentra protegida por otra. La línea de protección actuará en caso de que ocurra una falla en la primera. Mientras no se haga uso de la protección, al estar ambas líneas estableciendo un enlace entre los dos elementos de red, la línea de protección puede ser utilizada para enrutar tráfico de baja prioridad.

Una vez que se detecta un fallo en la línea principal, ambos elementos de red detectan el fallo y conmutan el tráfico hacia la línea de protección, manteniendo el enlace activo, esperando hasta que se restablezca la línea principal tras lo cual, dependiendo si se configura o no, se retorna el tráfico a dicha línea.

En el caso de la protección MSP 1:N, se establece una línea de protección para varias líneas de tráfico. Cuando alguna de ellas sufre una falla se conmuta inmediatamente hacia la línea de protección habilitada hasta que la línea principal es restablecida. Este tipo de protección permite que varias líneas cuenten con protección, sin embargo, solo es capaz de soportar un fallo a la vez.

Para poder proporcionar una protección más efectiva se puede implementar una protección MSP M:N, donde M número de líneas sirven de protección para N cantidad de líneas de tráfico. Sin embargo, a pesar de proporcionar una protección más eficiente, el costo de implementarla es mucho mayor y depende de la prioridad de tráfico que exista en el enlace para que su uso se justifique.

1.12.2. MS-SP Ring

Multiplex section shared protection ring, por sus siglas en inglés, permite la protección de un anillo con un tiempo de conmutación menor a 50 milisegundos, haciendo uso solamente de la mitad de la capacidad que tiene el anillo en ambos sentidos para el tráfico de datos. Esta protección se puede establecer en enlaces de 2 o 4 fibras. Cuando ocurre una falla en un enlace de 2 fibras, los elementos de red adyacentes a la misma realizan la conmutación del tráfico utilizando la capacidad destinada para tal efecto, a la vez que los demás

elementos permiten el paso de la señal a través de ellos. En este punto, al estar activo el modo de protección, el tráfico a proteger circulará por la totalidad del anillo.

En un anillo formado con enlaces de 4 fibras, un par se dedica completamente a funcionar como línea principal, tanto transmisión como recepción y el segundo par queda designado a la protección de los primeros. Entre la ventaja que ofrece esta configuración ante una falla que afecte un sentido de la transmisión, solo el enlace afectado sufre la conmutación hacia los hilos de fibra de protección, dejando el resto de los enlaces en su operación nominal. Sin embargo, si ocurre una falla en ambos sentidos de la transmisión entre dos elementos de red adyacentes, la señal será conmutada hacia la línea de protección en todo el anillo, funcionando de manera similar a la protección con solo 2 fibras, esto es, con el tráfico circulando en todos los elementos de red del anillo.

1.12.3. MS-DP Ring

Multiplex section dedicated protection ring, por sus siglas en inglés. En este tipo de protección cada transmisión de un enlace bidireccional emplea un camino distinto tomando un sentido del anillo, quedando el sentido contrario como la protección para dicho enlace. De este modo, al determinarse una falla en un enlace entre dos elementos, estos realizan la conmutación de tráfico únicamente de dicho sentido de transmisión, sin afectar la transmisión que circula por la otra mitad del anillo.

Al igual que las protecciones MS-SP ring, el consumo de ancho de banda del anillo se incrementa en cuanto la protección está en uso, reduciendo la

capacidad útil del anillo, limitándolo a la mitad únicamente para poder ser capaz de proteger la totalidad del tráfico en el mismo.

1.12.4. SNCP Ring

Subnetwork connection protection ring, por sus siglas en inglés. Esta protección hace uso de ambos sentidos del anillo, convirtiéndola en una protección 1:1, lo que permite soportar tráfico distribuido al compartir la capacidad de protección entre los enlaces. Como principal diferencia con las protecciones MSSP y MSDP está el poder soportar el fallo completo de un elemento de red y no solo un enlace, como también, la posibilidad de ser utilizada en anillos con una cantidad mucho mayor de elementos de red que la soportada por MS-SP y MS-DP

1.13. Servicios que trasporta la red

Diseñada para funcionar como un servicio de transporte transparente entre 2 o más puntos. SDH permite que diversos tipos de señales de cliente sean encapsulados, transmitidos, recibidos, desencapsulados y posteriormente recuperados al final del trayecto de transmisión con la menor afectación posible a la información contenida en la señal.

Lo que en un inicio fue transmisión de datos de telefonía y señales soportadas por PDH, con el tiempo fue dando paso a la transmisión de datos tanto de voz como video y posteriormente datos ethernet a tasas de mayor velocidad conforme el desarrollo de los equipos terminales de cliente permitieron un mayor acceso a la red y soporte para nuevas tecnologías.

A continuación se listan algunos de los servicios para los cuales SDH sirve de plataforma de transporte:

- Telefonía celular
- Video
- IP
- SAN

2. GESTIÓN DE RED

Trata sobre la organización, planificación, supervisión y el control de elementos de comunicaciones para garantizar un nivel óptimo de servicio, el cual está apegado a un presupuesto establecido. El objetivo principal de la gestión de red consiste en mejorar la disponibilidad, rendimiento y efectividad de los elementos del sistema.

Entre los inconvenientes que afectan a las redes actuales es que los equipos que las conforman son de diferentes fabricantes utilizando un sistema de gestión dedicado por cada uno para el monitoreo y acceso remoto a sus equipos siendo muchas de las veces incompatibles unos con los otros. A partir de esta situación se han ido desarrollando herramientas y métodos a usarse en la gestión de red para reducir las incompatibilidades existentes. Entre las recomendaciones más importantes que se han dado por parte de varios organismos, la más importante la definió la ITU-T como la red de gestión de telecomunicaciones (Telecommunications Management Network, TMN).

Bajo las recomendaciones dadas para TMN se definen 5 áreas para la gestión de la red, las cuales en un inicio fueron dadas a conocer por medio del modelo de interconexión de sistemas abiertos (Open System Interconnection, OSI) y luego tomadas por la ITU-T:

- Supervisión y fallos
- Configuración
- Tarificación
- Prestaciones

- Seguridad

2.1. Áreas funcionales de gestión

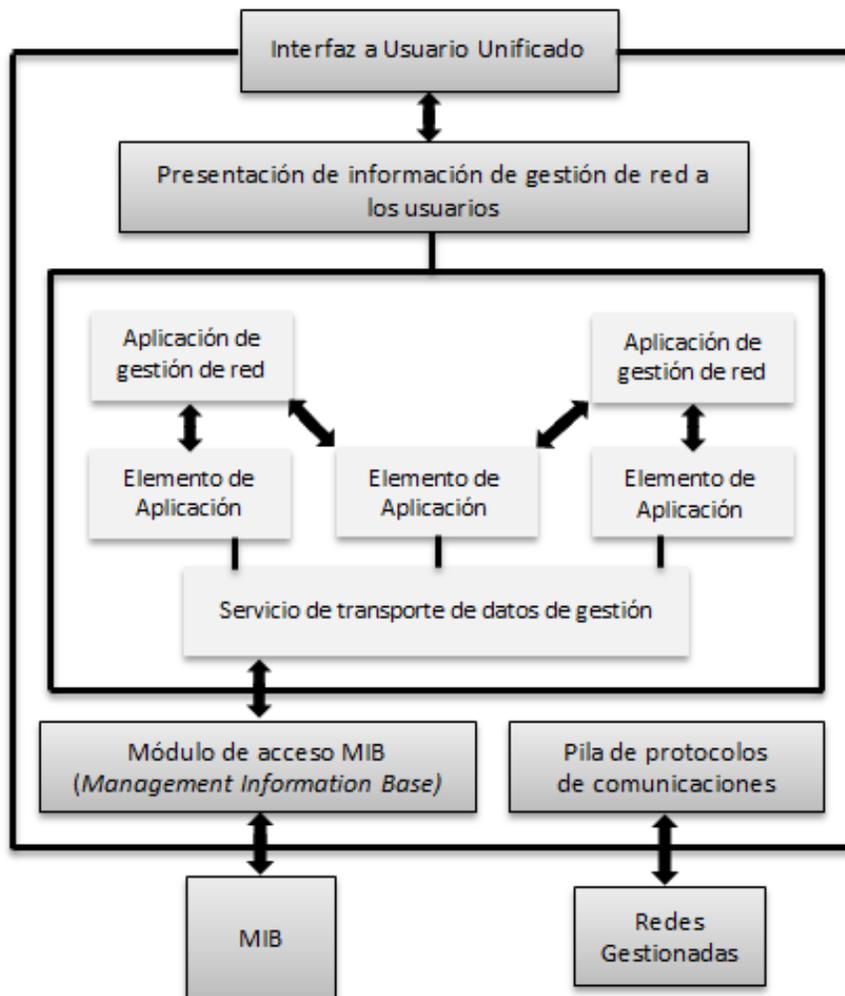
El esquema de funcionamiento que sigue un sistema de gestión parte de las mediciones que se realizan de los recursos de la red, a partir de los agentes que los mismos elementos de red contienen y que tienen acceso a los parámetros internos de dichos elementos. Se define, entonces a un agente como un módulo de software que se encarga de mantener la información de gestión y de interacción con los gestores.

Los elementos de red, a través de sus agentes, proporcionan la información a los gestores de la red. Los gestores, a partir de los parámetros definidos en sus políticas de gestión, actúan sobre la red por medio de mensajes de control sobre los agentes de los elementos de red, optimizando el funcionamiento a través de cambios en las configuraciones, entre otros. Con este control sobre la red se modifica las condiciones del tráfico y se repite una y otra vez el proceso realizando nuevas mediciones.

En el esquema general de funcionamiento de una plataforma de gestión, el usuario a través de una interfaz unificada tiene acceso a la información procedente de diversas aplicaciones de gestión. Se requiere que sea de esta forma, ya que la diversidad de elementos de red de distintos fabricantes así como la cantidad de funciones de gestión definidas por los estándares recomienda que el proceso sea en paralelo.

La figura 15 ilustra un modelo de referencia de un sistema de gestión de red.

Figura 15. **Modelo de sistema de gestión de red**



Fuente: BARBA, Antoni. *Gestión de red*. p. 90.

2.1.1. **Gestión de fallos**

Es un conjunto de facilidades que permiten la detección, aislamiento y corrección de una operación anormal. Obtener la mayor cantidad de información sobre los fallos ocurridos es el elemento fundamental para una buena gestión. La importancia de la calidad de la información radica en permitir

detectar y aislar los fallos generados en la red ante cambios de estado en los dispositivos. El proceso de identificación de fallos se caracteriza por seguir los siguientes pasos:

- Correlación de alarmas
- Identificación de alarmas
- Pruebas de localización
- Llevar a cabo secuencias de pruebas de diagnóstico
- Corregir las fallas

En los primeros 2 procesos se correlaciona los fallos observados, o las alarmas enviadas y se proponen hipótesis a fin de determinar la falla. Por último, cada hipótesis propuesta se examina para localizar la falla de una forma precisa.

2.1.2. Gestión de configuración

Comprende las facilidades que permiten controlar, identificar, recoger y proporcionar datos a objetos gestionados, con el propósito de asistir a operar servicios de interconexión. Entre las tareas relacionadas a esta gestión se pueden mencionar la definición de información de configuración de recursos, la modificación de las propiedades de los recursos, la definición y modificación de relaciones entre recursos, la inicialización y terminación de servicios de red así mismo la distribución de software.

2.1.3. Gestión de tarificación

Abarca los distintos criterios a utilizar para determinar el costo por servicios prestados en la red. Entre los criterios destacan: localización

geográfica, distancia desde nodo central, zonas temporales (días/semanas), descuentos por volumen, precio por paquete, códigos de área, rango de extensión por voz, correo electrónico, identificación de equipos orientados a datos, entre otros.

2.1.4. Gestión de prestaciones

Esta área incluye facilidades dedicadas a evaluar el comportamiento de objetos gestionados y la efectividad de determinadas actividades. Los indicadores propios de esta gestión comprenden los orientados al servicio como la disponibilidad, el tiempo de respuesta y la fiabilidad. De igual forma contiene indicadores orientados a la eficiencia tales como la utilización o el flujo de recursos.

2.1.5. Gestión de seguridad

Incluye aspectos que son esenciales en la gestión de red y que permiten proteger los objetos gestionados. Por medio de esta gestión se contempla la generación, distribución y almacenamiento de claves cifradas, información de contraseñas o bien información de control de acceso y autorización que debe mantenerse y distribuirse.

A través de estas facilidades permite la incorporación de mecanismos de seguridad contra ataques a las comunicaciones entre los cuales se puede mencionar: protección contra la interrupción de servicio, captura de información no autorizada, modificación de información o suplantación de identidad.

2.2. Red de gestión de telecomunicaciones (TMN)

Conocida como TMN, por sus siglas en inglés, proporciona funciones de gestión y comunicación para la operación, la administración y el mantenimiento de una red de telecomunicaciones y sus servicios en un entorno de múltiples fabricantes.

El desarrollo de la arquitectura TMN obedece a la creciente heterogeneidad en la tecnología para las redes de telecomunicación y la coexistencia de redes analógicas-digitales; del mismo modo se deriva de la mayor demanda sobre: la posibilidad de introducir nuevos servicios, reorganizar las redes, alta calidad de servicios, métodos eficientes de trabajo para operar las redes y competencia entre empresas operadoras privadas.

A través de TMN se define la relación entre los bloques funcionales básicos que constituyen la red: sistemas de operación (*operating system*, OS), red de comunicaciones de datos, elementos de red, por medio de interfaces estándar. Se introduce el concepto de control de subred, donde se define subred como el conjunto de elementos de red agrupados según un criterio determinado como la función que desempeña el elemento o el proveedor del mismo, y se trata como una sola entidad por la aplicación de gestión.

Se contempla al elemento gestor (*element management*, EM) como un punto de gestión flexible que sirve de unión entre los sistemas de gestión de red y los equipos de los diversos fabricantes, haciendo uso de las interfaces y modelos de información definidos para TMN.

La ITU-T, por medio de sus recomendaciones de la serie M.3XXX definió las regulaciones que rigen TMN. Dentro de estas recomendaciones se definen los siguientes modelos y arquitecturas:

- Arquitectura física
- Modelo organizativo
- Modelo funcional
- Modelo de información

A continuación se presentan algunas de las recomendaciones de la ITU-T para TMN contenidas en la serie M.3XXX:

- M.3000. Introducción a la recomendación TMN.
- M.3010. Principios para una red de gestión de telecomunicaciones.
- M.3020. Metodología para la especificación de la interfaz TMN.
- M.3100. Modelo de información de elementos de red genéricos.
- M.3101. Requerimientos para conformar objetos gestionados en TMN M.3100.
- M.3180. Catálogo de información de gestión TMN.
- M.3200. Introducción a los servicios de gestión TMN.
- M.3300. Capacidades de gestión TMN presentadas en la interfaz F.
- M.3400. Funciones de gestión TMN.

2.2.1. Arquitectura física

La arquitectura física de la TMN proporciona el medio de poder transportar la información de los procesos relacionados con la gestión de la red de telecomunicaciones. A continuación se enlistan los componentes que conforman esta arquitectura:

- Sistema operativo: realiza las operaciones del sistema de operaciones, incluyendo el monitoreo y control de las operaciones de las funciones de gestión de la red telecomunicaciones.
- Red de comunicación de datos (*data communication network*, DCN): es una red de comunicación dentro de TMN, la cual soporta las funciones de comunicación de datos. Representa a las capas 1, 2 y 3 del modelo OSI.
- Dispositivos mediadores (*mediation device*, MD): realizan la mediación entre interfaces locales de TMN y el modelo de información del sistema operativo. Las funciones de mediación son necesarias para garantizar que la información, el alcance y la funcionalidad se presentan en la forma exacta en la cual el sistema operativo espera. Las funciones de mediación pueden ser implementadas a través de jerarquías de dispositivos mediadores en cascada.
- Estaciones de trabajo (Workstation, WS): trasladan la información proporcionada por TMN hacia un formato apropiado para el usuario.
- Elementos de red (Network element, NE): en el alcance de TMN, un elemento de red contiene información que puede ser monitoreada y controlada por un sistema operativo. Con el fin de ser gestionado en el ámbito de TMN, un elemento de red debe poseer una interfaz TMN estándar, si no fuera el caso, aún es posible gestionar el equipo por medio de un adaptador tipo Q.
- Adaptadores Q (Q-adapter, QA): el adaptador tipo Q permite que la TMN pueda gestionar elementos de red que carecen de una interfaz TMN estándar.

2.2.1.1. Interfaces

En el modelo TMN, dos elementos de la red de gestión se comunican uno con otro por medio de interfaces estándar específicas. Estas interfaces se basan en conceptos del modelo de referencia OSI (ITU-T X.200).

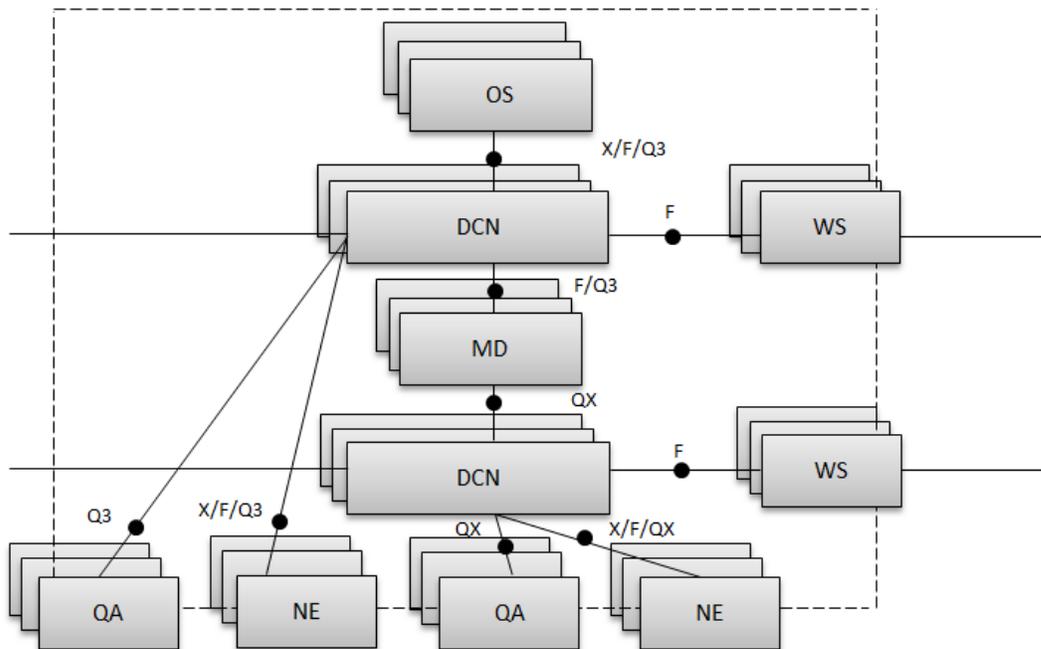
- Tipo Q: la interfaz tipo Q existe entre 2 bloques funcionales de la red de gestión que operan dentro del dominio de una misma red. Se manejan 2 variantes de la interfaz tipo Q:
 - Interfaz Qx: es apropiada para pequeños elementos de red que requieren unas pocas funciones de operación, administración y gestión utilizadas con frecuencia. La interfaz Qx existe entre elemento de red y dispositivo mediadores; dispositivo mediador y dispositivo mediador; y adaptador Q y dispositivo mediador.
 - Interfaz Q3: soporta un complejo conjunto de funciones y requiere el uso de protocolos para poder manejarlas. Es considerada la interfaz para el sistema operativo. Básicamente cualquier elemento funcional que requiere comunicación directa con el sistema operativo utiliza la interfaz Q3: sistema operativo y elemento de red; sistema operativo y adaptador Q; dispositivo mediador y sistema operativo; y sistema operativo y sistema operativo.
- Tipo X: esta interfaz existe entre dos sistemas operativos pertenecientes a redes de gestión bajo diferente dominio, o bien entre dos sistemas operativos no pertenecientes a una red de gestión. Según la definición de

la Norma T1.217 de ANSI, requiere el uso de las 7 capas del modelo de red OSI.

- Tipo F: soporta el conjunto de funciones para la interconexión de estaciones de trabajo con sistemas operativos o bien entre estaciones de trabajo y dispositivos mediadores.

La figura 16 muestra un modelo de arquitectura de una red de gestión de telecomunicaciones.

Figura 16. **Modelo de arquitectura física de TMN**



Fuente: BARBA, Antoni. *Gestión de red*. p. 83.

2.2.2. Modelo organizativo

Este abarca más de lo que el modelo de una organización de red desde el punto de vista técnico cubre, al tener en cuenta aspectos de administración del área comercial requeridos por las empresas que proveen servicios de telecomunicaciones. La ITU-T establece las siguientes capas o funciones de gestión para el modelo organizativo.

- **Gestión comercial:** soportada por un sistema de operación comercial que permite conectar el TMN con el proceso global del negocio del proveedor. Cuenta con las funciones asociadas:
 - Gestión completa y responsabilidad de empresa total
 - Tareas de asignación de objetivos
 - Acción ejecutiva

- **Gestión de servicios:** se discriminan los aspectos tecnológicos y se atiende desde el punto de vista del cliente.
 - Interfaz con clientes y otras administraciones
 - Interacción con proveedores de servicios
 - Mantenimiento de los acuerdos de nivel de servicio
 - Mantenimiento de datos estadísticos
 - Interacción entre servicios

- **Gestión de red:** cuenta con las siguientes funciones asociadas:
 - Provisión, cese o modificación de las capacidades de la red para el soporte de servicios a clientes.

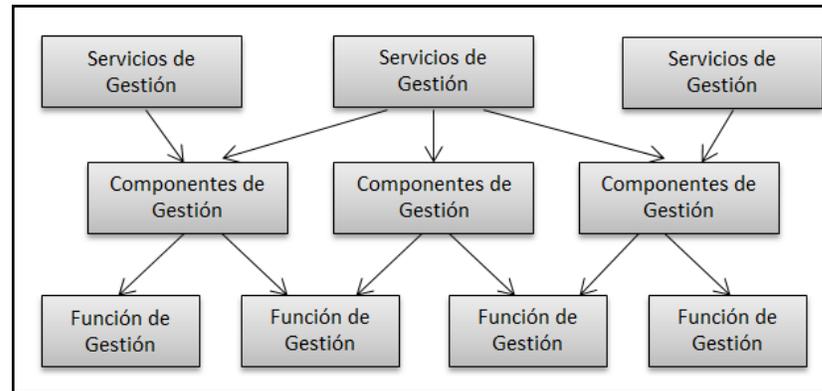
- Control y coordinación de todos los elementos de la red con su ámbito y dominio.
- Interacciona con la gestión de servicio en temas de prestaciones, uso, entre otros.
- Gestión de elementos de red: gestiona un conjunto de elementos de red para proporcionar una vista consolidada a la gestión de red de las agrupaciones de elementos. Entre sus funciones se encuentran:
 - Controlar y coordinar un subconjunto de elementos de red
 - Proporcionar una función de puerta de enlace (*gateway*)
 - Mantenimiento estadístico, control y coordinación sobre los elementos de red
- Elementos de red: gestiona cada elemento de forma individual, pero a su vez no es capaz de proporcionar una visión global de la red.

2.2.3. Modelo funcional

Está compuesto por secciones de servicios, componentes y funciones de gestión. El fin primordial de este es poder escalar las funciones de mayor a menor nivel en secciones según las necesidades del operador de red.

La figura 17 muestra la composición por bloques de este modelo:

Figura 17. **Modelo funcional**



Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Modelo de información

Considera la información de gestión desde 2 puntos de vista:

- Modelo de información de gestión: abstracción de los aspectos de gestión de la red orientados a objetos.
- Intercambio de la información de gestión: modelo de agente-gestor y uso de un protocolo común estándar.

2.2.4.1. Orientación a objetos

La información de gestión se modela en base a objetos gestionados, esto quiere decir, que un objeto gestionado es la vista conceptual de un recurso a gestionar, sea físico o lógico. Un mismo recurso puede ser representado por varios objetos, cada uno con la finalidad de proporcionar una perspectiva de gestión diferente. Si un recurso no es modelado mediante ningún objeto, el

sistema gestor es incapaz de visualizarlo. Un objeto gestionado está definido por:

- Los atributos que posee
- Las operaciones que pueden efectuarse sobre él
- El comportamiento que presenta
- Las notificaciones de eventos que puede emitir

La definición de las clases de objetos gestionados se realiza utilizando el estándar GDMO definido en las recomendaciones de la ITU-T X.722. A través de este estándar se proporciona una sintaxis con las que se especifican las MIB de los equipos de la red de gestión de telecomunicaciones.

2.2.4.2. Agentes y gestores

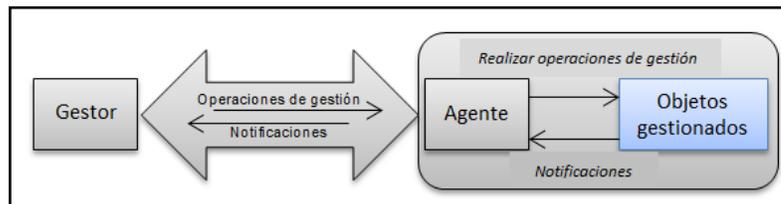
Debido a que el entorno que se desea gestionar es distribuido, de igual forma la gestión de red es distribuida. Esto hace necesario el intercambio de información entre procesos de gestión. Estos procesos de gestión son identificados por TMN como:

- Gestor: encargado de iniciar las operaciones de gestión y recibir a la vez notificaciones desde los agentes.
- Agente: se encarga de mantener asociados a los objetos gestionados, de responder a las operaciones iniciadas por el gestor así como emitir notificaciones al gestor.

Un agente puede ser capaz de denegar una solicitud de un gestor, sea por falta de privilegios o bien por políticas de seguridad establecidas. El intercambio

de información entre agentes y gestores se lleva a cabo mediante el uso de un protocolo estándar: CMIP. La figura 18 muestra la interacción entre gestor y agente:

Figura 18. **Esquema a bloques agente-gestor**



Fuente: elaboración propia.

2.2.4.3. CMIP

Common management Information protocol, por sus siglas en inglés: se encuentra definido en el estándar 9596 de OSI. Ofrece un mecanismo de transporte en forma de servicio pregunta-respuesta. A través de él es posible gestionar equipos de red locales y remotos en entornos públicos o privados. Permite de igual manera acceder a la gestión de bases de información (MIB). Se compone de dos elementos:

- CMIS. Common management Information service, por sus siglas en inglés: establece los servicios necesarios para la gestión de los equipos de red.
- CMIP: es el protocolo de gestión de los servicios establecidos por CMIS.

Las características básicas que definen el protocolo son:

- Basado en eventos
- Comunicación orientada a conexiones
- Confirmación de las peticiones por parte de los clientes
- Los servicios de CMIS que se transmiten por CMIP:
 - GET: recupera objetos de la MIB.
 - SET: modifica objetos de la MIB.
 - CREATE: añade nuevas instancias de objetos gestionados.
 - DELETE: elimina instancias.
 - ACTION: solicitud de acciones concretas a los objetos gestionados, llamando a sus métodos.
 - EVENT_REPORT: permite al agente enviar eventos y alarmas.

Las ventajas que representa CMIP se pueden describir como:

- Los objetos gestionados proporcionan información de la MIB a la terminal, y además pueden ser utilizados para otras tareas.
- Proporciona una mayor seguridad que el protocolo SNMPV1 (Simple network management protocol version 1, por sus siglas en inglés) al incluir dispositivos de gestión de seguridad que soportan integridad, autenticación, confidencialidad y cifrado.
- Permite el envío de datos de distintos tamaños o complejidad al tratarlos como objetos.

Por su parte CMIP presenta las siguientes desventajas:

- Hace uso de una gran cantidad de recursos, aproximadamente 10 veces más de lo que SNMP utiliza. Esto se debe al hecho de funcionar sobre la pila de protocolos de comunicación de OSI.
- Presenta un mayor grado de complejidad para la programación, al manejar una alta cantidad de variables y atributos que requieren personal especializado para el control de la gestión.

2.2.4.4. Gestión de bases de información (MIB)

Management Information Base, por sus siglas en inglés: almacena los datos de los dispositivos o componentes de la red, que pueden ser recuperados o manipulados por los sistemas de gestión a través de los agentes. Cada objeto manejado por MIB tiene un identificador de objeto único e incluye el tipo de objeto, el nivel de acceso (lectura o escritura), restricciones de tamaño e información del rango del objeto.

Cuenta con un formato común a fin de que los dispositivos, aun siendo de fabricantes distintos, puedan ser administrados con un protocolo general. Este protocolo de administración consulta a los objetos y envía la información a una estación administradora. De esta forma, la MIB es modificada continuamente con el propósito de añadir nuevas funcionalidades, arreglar fallos y eliminar ambigüedades.

2.3. Monitoreo y control

Se utiliza el término monitorización para nombrar las acciones cuyo fin es obtener información de la red sobre el estado de la misma y detectar anomalías. Estas acciones son pasivas y su fin objetivo es conocer el comportamiento

respecto al tráfico del sistema. Al tener un conocimiento del sistema, se puede proceder al control del mismo, para lo cual se establece un plano de control en toda la red que se encarga de regular las comunicaciones y el tráfico de la red.

Con base en las definiciones por parte de la ITU-T, la monitorización de red proporciona información en la gestión de las funciones de prestaciones, fallos, contabilidad y aspectos de configuración, mientras que el control de red se aplica a funciones de configuración y seguridad.

En el proceso de monitoreo de la red son considerados una serie de aspectos:

- Definición de la información de gestión que se monitorea
- Forma de acceso a la información monitoreada
- Diseño de los mecanismos de monitoreo
- Procesamiento de la información obtenida mediante el monitoreo

La información que se obtiene mediante el monitoreo de la red se clasifica según su naturaleza temporal:

- Información estática: aquella que se almacena en los elementos encargados de llevar a cabo el monitoreo, para fines de inventario.
- Información dinámica: se almacena en los propios elementos de red o en equipos especializados, que involucra cambios de estado o fallas registradas entre otros.
- Información estadística: se genera a partir de la información dinámica con el objetivo de representar rendimientos en un tiempo promedio.

Puede residir en cualquier equipo que tenga acceso a la información dinámica.

Para llevar a cabo el monitoreo uno de los mecanismos a utilizar se basa en el sondeo por parte de la estación de gestión, accediendo de forma periódica a la información almacenada en los elementos de red gestionados. Mediante este método se obtiene la ventaja de configurar los elementos a gestionar, únicamente para responder a los requerimientos de la estación de gestión. Otro mecanismo utilizado es por medio de notificaciones en donde los mismos elementos de red, que son gestionados, son quienes envían la información a la estación de gestión bajo ciertas condiciones. Con esto se minimiza el tráfico de gestión en la red.

2.4. Centro de gestión de redes

Se conoce como el lugar donde se controla y vigila el correcto funcionamiento de todos los equipos integrados en las distintas redes. En él es donde se monitorea y administra la red, la información sobre la disponibilidad presente, histórica y planeada en los sistemas, el estado de la red y datos estadísticos de operación y gestión de fallas.

El centro de gestión se encarga de tener un control actualizado de la configuración de los elementos de red, un monitoreo preventivo y sistemático de los signos de degradación de la red. Prestar atención a las alarmas generadas como a los diagnósticos de las averías suscitadas. Controla la calidad del servicio.

Controla además, los cambios de versiones de software tanto a nivel de los equipos de red como del servidor de gestión. Se encarga de verificar la

correcta operación del sistema de gestión y del equipamiento informático que se emplea en la gestión.

Cuenta con tres tipos principales de recursos:

- Recursos humanos
- Métodos de gestión
- Herramientas de apoyo

2.4.1. Recursos humanos

Es el personal encargado del correcto funcionamiento del centro de gestión. Dentro de este recurso se encuentran:

- Operadores: sus funciones se definen en:
 - Proveer soporte para usuarios, y soporte técnico
 - Recolección y evaluación de alarmas
 - Diagnóstico de problemas
 - Arranque y parada de componentes de red
 - Ejecución programada de pruebas preventivas
- Administradores: se encargan mayormente de las siguientes funciones:
 - Gestión de inventario
 - Gestión de configuraciones
 - Gestión de contabilidad
 - Gestión de seguridad
 - Evaluación del tráfico y calidad de los servicios

- Analistas: su objetivo principal es garantizar la calidad de servicio, para ello sus responsabilidades contemplan:
 - Definir indicadores de prestaciones para la calidad de servicio
 - Análisis global de la calidad de servicio
 - Decisiones para la corrección de desviaciones de la calidad de servicio
 - Preparar procedimientos para operadores y administradores

- Planificadores. Toman decisiones dependientes a la de la empresa.
 - Análisis de informes técnico-económicos
 - Establecimiento de políticas de telecomunicaciones
 - Asignación de presupuesto
 - Selección de criterios de costos o facturación

2.4.2. Métodos de gestión

En ellos se definen las pautas de comportamiento de los componentes del centro de gestión ante determinadas circunstancias. Incluye procesos y procedimientos para la gestión de fallos, configuración, tarificación, prestaciones y seguridad.

2.4.3. Herramientas

Aquellos recursos que facilitan las tareas de gestión a los operadores tales como: los sistemas de gestión integrada, los gestores de elementos y los elementos de red mismos a través de sus agentes.

3. INTEGRACIÓN DE GESTIONES DE RED SDH

A través de la gestión de red, actualmente las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones tienen el control sobre una determinada cantidad de elementos pertenecientes a su red de telecomunicaciones. Por medio de la gestión son capaces de monitorear los parámetros tales como: alarmas, capacidad disponible en la red, software instalado en los elementos, entre otros.

Son estos parámetros los que permiten elaborar ingenierías de ampliación, proyectos de expansión, y a la vez, determinar fallas y puntos potenciales de fallo en la red.

Si bien en la actualidad, la cobertura de servicios de telecomunicaciones abarca un alto porcentaje del país, es en el área metropolitana donde se concentra la mayor densidad de tráfico de datos y llamadas. Generando de este modo, una acumulación de equipos destinados a satisfacer esta alta demanda tanto en servicios de telefonía móvil, como de transmisión de datos.

Este crecimiento exponencial de equipos en el área metropolitana generó el apareamiento de distintas redes interconectadas entre sí para garantizar la eficiente comunicación de usuarios, pero al mismo tiempo separadas por distintos sistemas de gestión dedicados al monitoreo de equipos bajo un mismo fabricante. Dentro de este crecimiento aparecieron nuevas redes conformadas por equipos del mismo fabricante, y a la vez gestionadas de forma separada al ser ambas parte de un proveedor de servicios independiente.

La consolidación de empresas multinacionales dedicadas a los servicios de telecomunicaciones en el país provocó que compañías a nivel nacional fueran adquiridas por ellas, tanto a nivel administrativo como a nivel operativo. Sin embargo, a pesar que en materia administrativa la consolidación de estas empresas se llevó a cabo una forma relativamente rápida. En el caso de la operación de equipos no hubo un plan concreto que llevara la integración de gestiones de ambas redes a realizarse en un tiempo mínimo.

Si bien los servicios proporcionados a través de ambas plataformas funcionan de manera conjunta, la gestión de ambas redes quedó a través de servidores distintos, operadas de forma independiente una de la otra. Dando lugar a inconsistencias a nivel de base de datos y duplicación de puntos de falla al no poseer un control total de fallas en todos los equipos.

Ante esta situación se presenta a continuación una propuesta de pasos y acciones a seguir a fin de consolidar bajo un mismo sistema de gestión dos redes SDH localizadas en un área metropolitana y con elementos de red pertenecientes a un mismo fabricante, permitiendo de este modo reducir gastos de operación, duplicación de fallas y optimizar tiempo y recursos dedicados al monitoreo de la red.

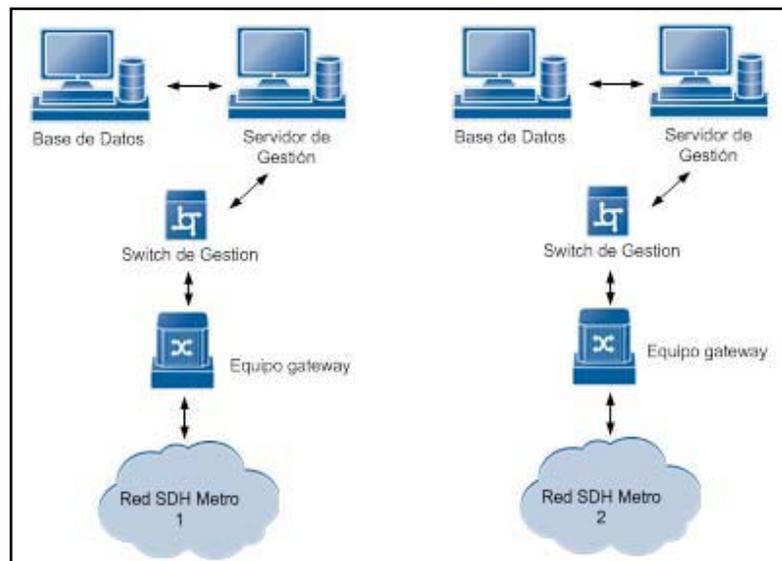
Para llevar a cabo la integración de gestión de redes se plantea manejar los siguientes puntos:

- Auditoría de redes: contempla el análisis de los servicios en uso, la cantidad de elementos de red, software instalado en los equipos, entre otros datos de las 2 redes SDH metropolitanas.

- Integración de esquema gráfico de red: plantea la integración de los elementos de red gestionados por el usuario en un entorno gráfico hacia una base de datos unificada.
- Migración de servicios a base de datos integrada: migración de la totalidad de servicios de la red secundaria hacia la base de datos unificada.
- Eliminación de segundo sistema de gestión: eliminación de servidores de gestión dedicados a la red secundaria, así como de base de datos secundaria.

La figura 19 representa ambas redes gestionadas desde un servidor y base de datos dedicado.

Figura 19. **Redes SDH gestionadas independientemente**



Fuente: elaboración propia.

3.1. Auditoría de redes

Esta es la primera acción a realizar y de la cual dependen los siguientes pasos. De ella depende que todo el proceso de integrar ambas gestiones SDH se complete con éxito y se desarrolle de la forma más eficiente y con la menor afectación de tráfico en la red.

En esta fase se determina cuál de las 2 redes contiene la mayor cantidad de elementos de red, tráfico de datos y servicios de telefonía móvil, con lo cual dicha red se denomina red principal y es hacia ella donde serían migrada la base de datos de la red secundaria que contiene los servicios de dicha red, así como el esquema gráfico que representa en la base de datos a la red secundaria.

3.1.1. Elementos de red

La cantidad de elementos de red que pertenecen a ambas redes SDH se obtiene accediendo por medio de ambas gestiones al listado de elementos en uso. Determinada cual será la red secundaria, esto es, la red que integra la menor cantidad de equipos, se procede a realizar un inventario que permita determinar la mayor cantidad de características de los mismos.

3.1.1.1. Familias de equipos

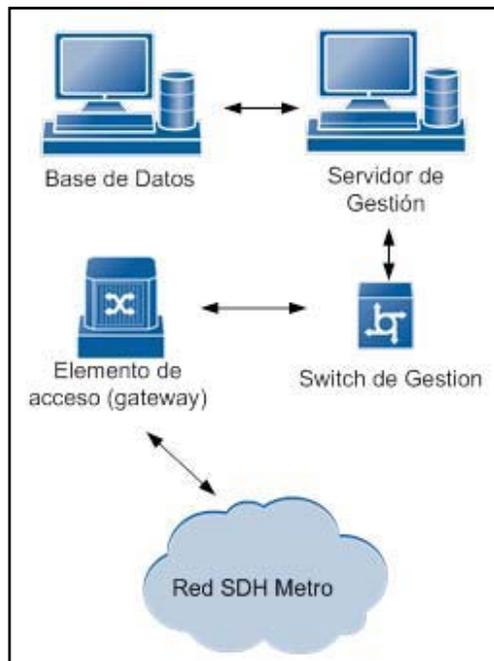
Siendo los elementos de red en operación parte de un mismo proveedor, estos se organizan en base a las familias a las que pertenecen. Cada familia involucra las propiedades que determinan el uso para el cual un elemento de red está diseñado. De este modo los elementos se clasifican en:

- Elementos de red de acceso: aquellos elementos de red que sirven de acceso a la plataforma de transporte SDH a las señales de bajo orden provenientes de celdas de telefonía o de equipos tributarios de terceros.
- Elementos de red de transporte: la red SDH propiamente dicha. Aquellos elementos que interconectan los anillos metropolitanos.
- Elementos de acceso de gestión: comúnmente conocidos como equipos *gateway*, es a través de ellos que se gestiona la totalidad de los elementos de la red al poder acceder el gestor a los demás elementos por medio de los canales de gestión dedicados en la trama SDH.

La identificación de estos equipos, así como de sus interfaces dedicadas a la gestión permite que sea este el punto de cambio para integrar cada equipo de la red secundaria a la plataforma de gestión de la red primaria.

Se debe tener presente que como mínimo deben haber 2 equipos que funcionen como puertas de acceso de gestión hacia la red, uno funcionando como *gateway* principal y un secundario. La figura 20 muestra un esquema de los elementos de acceso de gestión en una red SDH.

Figura 20. **Esquema de gestión de una red SDH**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Hardware instalado

Cada elemento de red cuenta con diferentes módulos instalados que permiten realizar diferentes operaciones, ya sea multiplexar o demultiplexar señales tributarias, integrar servicios *ethernet* a la trama SDH, etc. Además de los módulos de operación de cada elemento, se debe tener presente la cantidad y tipo de *transceivers* ópticos o eléctricos instalados.

Los *transceivers* son los dispositivos que cuentan con un transmisor y un receptor a la vez que permiten el envío de la trama SDH a través de un medio óptico como las fibras, o bien a través de medios de transmisión eléctrica tales como el cable coaxial.

3.1.1.3. Software instalado

Cada elemento de red posee una versión de software proporcionada por el fabricante que permite la operación del elemento de red en el manejo de los módulos de operación así como la interacción entre elemento y sistema de gestión de la red.

Cabe resaltar que las versiones de software instaladas en cada elemento de red deben ser soportadas por la base de datos de la red primaria. Si no fuera este el caso, antes de realizar cualquier otra acción se debe realizar una actualización de software en los equipos de la siguiente manera:

- Acceder por medio de gestión remota o directamente al equipo por un puerto de gestión local.
- Comprobar la versión actual del equipo.
- Generar un *backup* o copia de seguridad del equipo que contenga las configuraciones del equipo tales como crossconexiones, firmware de los módulos instalados y versión de software en funcionamiento. Luego guardar dicho *backup* en la base de datos de la red o en un equipo local.
- Descargar al equipo la nueva versión de software e instalarla según los pasos establecidos por el fabricante.
- Reiniciar, si es necesario, la tarjeta de control del equipo y comprobar que se cuente con acceso tanto local, como remoto del equipo y que la versión de software en funcionamiento sea la recién instalada.

3.1.2. Base de datos secundaria

Como parte de la auditoría a la red secundaria se debe realizar un inventario de la base de datos, del cual se debe ser capaz de obtener los datos relacionados a la información almacenada directamente en los elementos de la red. Es de suma importancia que a la hora de realizar dicho inventario la red se encuentre congelada o se documente algún cambio en la misma para no generar inconsistencias. Esta información se puede clasificar de la siguiente manera:

- Troncales físicas activas
- Troncales lógicas activas
- Circuitos de gestión en uso
- Circuitos de bajo orden activos
- Alarmas existentes

3.1.3. Inconsistencias

Una vez realizado el inventario total de la red, se procede a identificar las inconsistencias que pueda haber, tanto a nivel de hardware como a nivel de base de datos. A nivel de hardware estas inconsistencias se definen como:

- Elementos de red en uso y operando sin fallos, pero fuera de gestión.
- Elementos de red con módulos ausentes a nivel de base de datos, sin embargo, físicamente instalados.
- Módulos instalados en elementos de red con fallas de operación no reportadas por estar como no monitoreados.

Es a nivel de base de datos donde las inconsistencias encontradas serán en mayor cantidad, al involucrar la coherencia que debe existir entre la información almacenada tanto en los elementos de red como en los servidores de gestión. Estas inconsistencias se catalogan de acuerdo a los siguientes eventos:

- Circuitos lógicos creados en la base de datos con estado activo, sin embargo, no habilitados a nivel físico y sin monitoreo de fallas. Por ejemplo: un enlace a nivel de E1 entre 2 equipos, con una o ambas interfaces físicas desconectadas.
- Crossconexiones realizadas a nivel de hardware que habilitan el tráfico de datos entre interfaces físicas, permitiendo que un servicio SDH tenga una ruta física definida para alcanzar 2 puntos en la red, *end-points*. Sin embargo, no se declara en la base de datos dicho circuito, su capacidad y su ruta.
- Servicios SDH dados de baja a nivel comercial que generan inconsistencias al ser retiradas las conexiones físicas pertenecientes a dicho servicio, pero en base de datos el circuito lógico correspondiente no se elimina, sino queda en un estado inactivo o planeado.
- Servicios SDH dados de baja a nivel comercial que son eliminados totalmente de la base de datos, sin embargo, las conexiones físicas de los mismos son dejadas en los equipos con el etiquetado correspondiente que relaciona las interfaces con el servicio eliminado.

A pesar que es necesario tener la totalidad de inconsistencias en la red secundaria antes de comenzar la integración de ambas gestiones, es

prácticamente imposible si no se ha tenido un control totalmente eficiente en el manejo y gestión de la red. Por lo cual, las inconsistencias antes mencionadas irán apareciendo conforme se realice la integración de las 2 bases de datos y se presenten errores de comunicación entre el gestor primario y los elementos de la red secundaria.

A fin de solventar de forma eficaz estos eventos es necesario contar con personal que opere de forma directa en los elementos de red a fin de eliminar las inconsistencias a la brevedad posible.

3.2. Integración de esquema gráfico de red

En un sistema de gestión de red, este esquema se torna más amigable y comprensible al contar con una representación visual proporcionada a través de una interfaz gráfica de usuario. Por medio de esta herramienta es posible ordenar los elementos de red por regiones, zonas o áreas, según sea la necesidad o los requerimientos del proveedor de servicios.

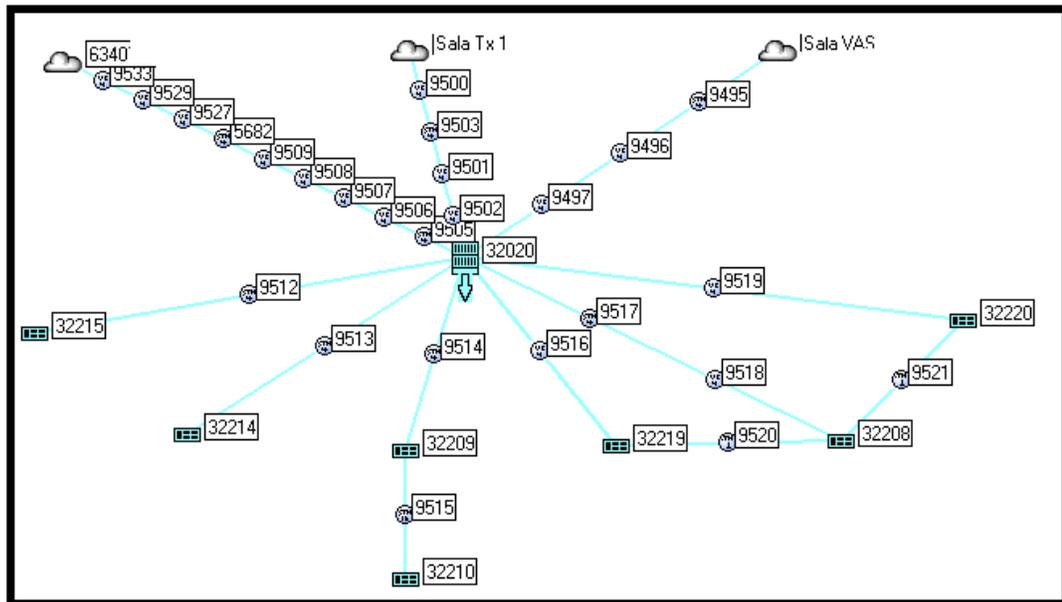
A fin de permitir que los operadores de la red primaria gestionen la red secundaria de una forma eficaz, así como los operadores de la red secundaria puedan continuar trabajando de la forma en la cual han estado operando, es necesario crear en el esquema gráfico de la red primaria un nuevo esquema que represente a cabalidad a la red secundaria.

En el entorno gráfico, generalmente se representan a los elementos de red como objetos de distintas formas, dependiendo al tipo de familia a la cual pertenecen, e interconectados hacia otros elementos por medio de líneas que representan las troncales físicas (las fibras ópticas que interconectan las interfaces físicas de los elementos) y troncales virtuales. Estas últimas

representan la capacidad de alto orden del enlace SDH dentro de las cuales se configuran los servicios desde niveles de capacidad E1's hasta AU4's.

En la figura 21 se muestra una representación de la visualización gráfica de una red en un sistema de gestión.

Figura 21. **Esquema gráfico de una sección de una red**



Fuente: elaboración propia, basado con el programa *Coriant: 8000 Intelligent Network Manager*.

Para completar la integración del esquema gráfico de la red secundaria dentro de la gestión de la red primaria se debe proceder de la siguiente manera: haciendo la aclaración que todo elemento nuevo agregado a la base de datos primaria debe ser dejado en estado planeado para no generar alarmas.

- Agregar cada elemento de red de acuerdo a la familia a la que pertenece dentro de la interfaz gráfica del sistema de gestión primario.

- Agregar los parámetros del equipo que lo identifican como tal en el sistema de gestión. Estos son: nombre, ID, dirección NSAP (Network service access point), versión de software cargado, locación y área.
- Agregar los módulos instalados físicamente en las posiciones correspondientes a cada elemento, dentro de la representación gráfica del mismo en el sistema de gestión. Estos módulos deben ser tanto los dedicados a la transmisión y recepción de tramas SDH, como los dedicados a la alimentación de voltaje, ventilación del equipo y gestión del elemento de red. Cualquier módulo capaz de ser gestionado y reportar alarmas o parámetros debe ser agregado. Se debe tener cuidado de agregarlos en las posiciones correctas, para no generar inconsistencias en la base de datos primaria.
- Agregar a cada módulo que corresponda, la representación gráfica de los *transceivers* ópticos o eléctricos y a la vez indicar la capacidad de transmisión de estos últimos.
- Agregar las troncales que equivalen a los enlaces entre elementos de red representándolas por medio de una línea recta que conecte dos elementos de red. Estas se conocen como troncales físicas y se deben definir de la siguiente forma:
 - Crear la nueva troncal con el mismo nombre, capacidad, información y configuración de protección de forma idéntica a como aparece en la base de datos secundaria.
 - Establecer los *end-points* de la troncal y las interfaces a utilizar en los mismos como aparece en la base de datos secundaria.

- Dejar la troncal en estado planeado o sin uso para no generar inconsistencias.

3.3. Migración de servicios a base de datos integrada

Una vez que se han agregado a la base de datos la totalidad de elementos de red, sus módulos instalados y operativos, así como las interfaces que se encuentran en uso, se procede a habilitar en la base de datos primaria tanto los equipos como los servicios que se encuentran activos en la base de datos secundaria. Para llevar esto a cabo hay que realizar una serie de procesos en un determinado orden para poder contar en todo momento con gestión de los elementos de red y monitorear fallas que puedan surgir durante la migración de los servicios.

3.3.1. Configuración de equipos *gateway*

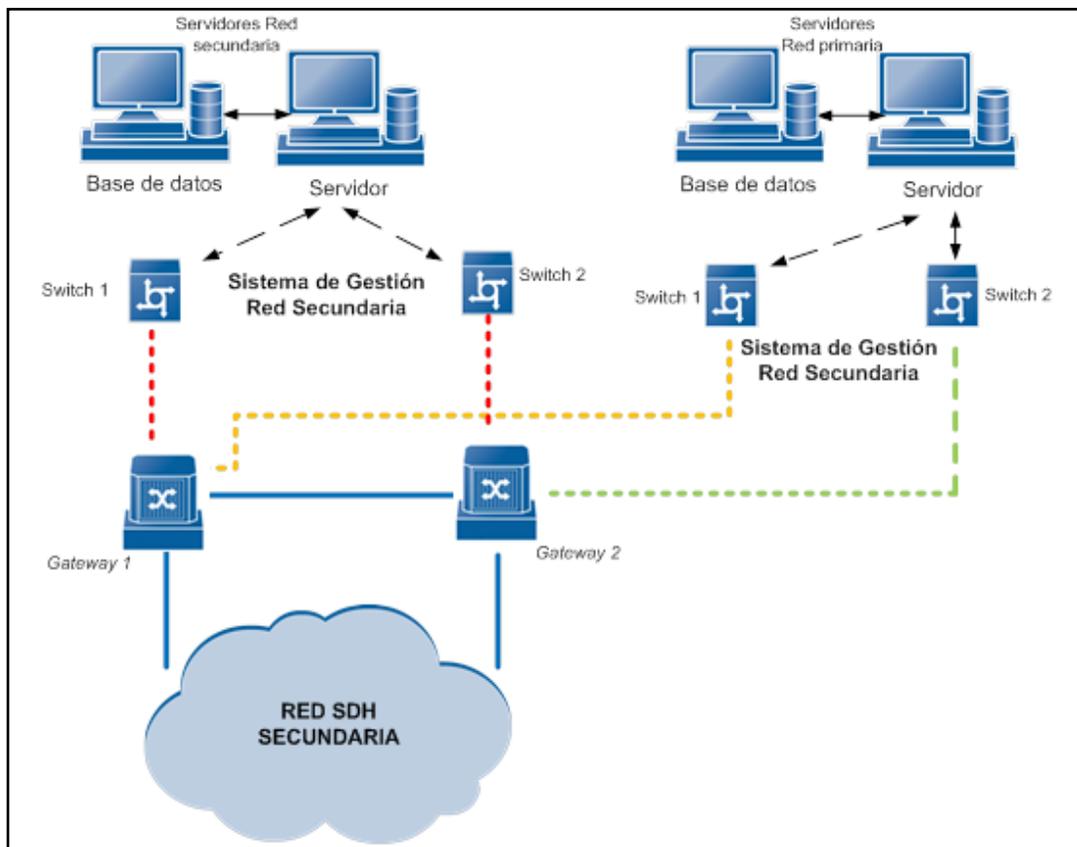
Durante la auditoría de red se determinan los 2 equipos que funcionarán como puertas de enlace o *gateway*, por lo cual lo primero que se debe hacer es configurar ambos equipos para que sean capaces de comunicarse con ambos servidores:

- Identificar los puertos físicos de gestión en ambos equipos.
- Establecer un enlace físico hacia un equipo *switch* de gestión, con un puerto determinado para dicho efecto.
- Comprobar desde el sistema de gestión primario que el puerto de gestión del equipo *gateway* es accesible.

- Configurar desde una interfaz de gestión local o bien desde la gestión secundaria en los equipos *gateway*, que reconozcan la red primaria y secundaria, esto es, agregando el número de área a la cual pertenecen los elementos de red de la red primaria al listado de áreas visibles para el equipo *gateway*.

La figura 22 muestra como queda gestionada la red secundaria por medio de 2 gestores distintos.

Figura 22. **Configuración de equipos *gateway***



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Puesta en uso de elementos de red

En la integración del esquema gráfico de las redes fueron dibujados tanto los nodos como sus módulos, interfaces, así como las troncales físicas que los unen. En este punto es cuando cada equipo se coloca en uso dentro del gestor primario siguiendo un proceso en el cual el elemento de red más alejado del equipo *gateway* sea el primero en ser migrado a la base de datos primaria y procediendo a partir de él hasta el mismo equipo *gateway*.

Esto se hace con la finalidad de evitar que solo sea afectado el equipo más distante y por ende un único equipo cuando se cambie de gestión de red en el mismo. Evitando de esta manera afectar a un equipo del cual otros equipos reciban gestión. Si no se hiciera de este modo, al colocar en uso un equipo que proporcione gestión a otros equipos, estos últimos quedarían sin gestión tanto de la red secundaria como de la primaria.

Este proceso se llevará a cabo del siguiente modo equipo por equipo:

- Acceder al equipo por medio del sistema de gestión secundario.
- Configurar los parámetros de acceso del equipo a la red de gestión, de manera que reconozca a la red primaria de gestión.
- Reiniciar la tarjeta de control del equipo a fin de que actualice los nuevos parámetros de gestión de red.
- Acceder al equipo desde el gestor de la red primaria de manera que se compruebe que el equipo es gestionable desde ambos servidores.

- Borrar los parámetros de gestión de red que ligan al equipo con la gestión de la red secundaria.
- Comprobar que el equipo no es más gestionable desde la red secundaria y solo desde la primaria.
- Cambio de estado del elemento de red de planeado a en uso, incluyendo los módulos instalados en él, así como las interfaces habilitadas.

Al llegar a los equipos *gateway* se procede de la misma forma que con los demás elementos de red, pero agregando el siguiente paso:

- Eliminar enlace físico desde el puerto de gestión hacia el equipo *switch* de la red secundaria.

De este modo quedan migrados la totalidad de los elementos de red de la red secundaria hacia la gestión de la red primaria.

3.3.3. Puesta en uso de troncales físicas

Una vez los equipos son gestionados desde la red primaria se procede a la puesta en uso de las troncales físicas ya dibujadas anteriormente, pasándolas de un estado planeado a un estado en uso.

Con esto se tiene en uso dentro de la base de datos primaria el equivalente a la infraestructura física de la red secundaria permitiendo de este modo la migración de los servicios propios de la red.

3.3.4. Habilitar troncales virtuales

Se conoce a las troncales virtuales a aquellas representaciones lógicas a nivel VC4 que conectan 2 *end-points*, no necesariamente adyacentes en la red, haciendo uso de las troncales físicas ya habilitadas.

Estas troncales se deben implementar, y a la vez poner en uso en la red primaria teniendo en cuenta la configuración de las mismas establecida en la base de datos de la red secundaria con los siguientes pasos:

- Desde el sistema de gestión primario crear una nueva troncal virtual, utilizando los mismos parámetros como nombre, capacidad, proveedor, entre otros. Que se muestran en la base de datos secundaria.
- Copiar los *end-points* para la troncal así como las interfaces respectivas.
- Establecer la ruta de la troncal virtual utilizando la misma ruta de la base de datos secundaria a través de las nuevas troncales físicas implementadas en la base de datos primaria.
- Activar la nueva troncal virtual.

3.3.5. Migración de circuitos de bajo orden

Es esta la parte más extensa en el proceso de integrar las gestiones de red, ya que se debe realizar la creación de los servicios uno por uno utilizando los mismos *end-points*, y la misma ruta lógica, troncales virtuales, que se tiene guardada en la base de datos secundaria.

Para llevar a cabo este proceso se propone realizarlo de la siguiente manera:

- Acceder a la base de datos de la red secundaria y obtener las características de cada servicio. Estos son: nombre, interfaces en uso en los *end-points*, ruta de cada servicio, KLM's asignados en cada troncal lógica que utilizan.
- Crear en la base de datos de la red primaria un nuevo circuito punto a punto de la misma capacidad que el indicado en la red secundaria.
- Determinar los mismos *end-points*, interfaces y KLM.
- Realizar la ruta de forma idéntica a como se encuentra en la red secundaria.
- Conectar a nivel de base de datos el nuevo circuito creado. Si fue realizado de forma correcta no deberá presentarse ningún error.

Cabe mencionar que este proceso es repetitivo por cada servicio activo creado en la red secundaria y se deberá tener cuidado de no cometer errores a la hora de la creación de los mismos, ya que cualquier inconsistencia que exista entre la base de datos y las crossconexiones internas de los equipos generaría alarmas, y en caso extremo, pérdida de tráfico.

Una vez finalizado el proceso de creación de servicios se debe hacer una comparación entre la cantidad de servicios creados en la red secundaria comparados a la cantidad de servicios nuevos creados en la red primaria.

3.4. Eliminación de sistema de gestión secundario

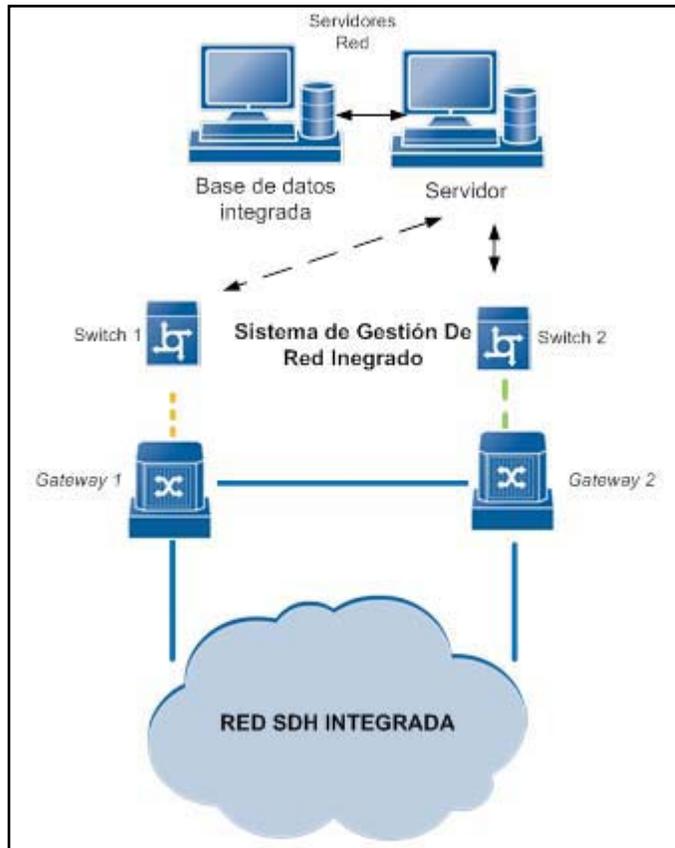
Una vez que se haya comprobado que la totalidad de los servicios han sido migrados se puede proceder a dar de baja todo el sistema de gestión secundario, ya que no se corre riesgo de borrar algún servicio activo.

- Desde el servidor de gestión secundario se procede a borrar y eliminar la base de datos con la información concerniente a la red, ya que no se cuenta con ningún elemento gestionado a través de la misma no hay riesgo de eliminar información en uso.
- Se procede a acceder a los servidores de gestión y dar de baja a los mismos a fin de liberar la capacidad y recursos utilizados por los mismos, y así, dicho equipo pueda ser reasignado.

De esta forma se da por finalizada la integración de los sistemas de gestión de ambas redes SDH metropolitanas, dejando en control de un solo sistema de gestión el control de la totalidad de elementos de red, de fallas y de servicios activos, así como el manejo de los recursos disponibles en la red.

En la figura 23 se muestra el estado final de ambas redes SDH, luego de la integración de las mismas, gestionadas por una misma base de datos y un mismo servidor.

Figura 23. Integración de gestión de redes SDH metropolitanas



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. SDH proporciona una alta capacidad de transmisión de flujo de datos a través de fibra óptica, radioenlaces y cable coaxial, con lo cual se posiciona como la tecnología ideal para el tráfico de datos en una metrópolis, utilizando la combinación de distintas topologías para puntos de acceso y núcleo de la red.
2. Los sistemas de gestión de red de distintos propietarios pueden presentar diferencias en la aplicación gráfica, presentación de datos y resultados de consultas hacia los elementos de red, pero deben cumplir con las áreas definidas por la ITU-T: seguridad, prestaciones, tarificación, configuración y supervisión y fallos.
3. El intercambio de información dentro de los procesos de gestión de una red se lleva a cabo por medio de un gestor quien inicia las operaciones de gestión, y por un agente que responde a estas operaciones por medio de notificaciones, a la vez que mantiene asociados los objetos gestionados.
4. La presencia de redes SDH con elementos de red de un mismo proveedor, gestionadas independientemente, provoca la duplicación de recursos destinados a la operación, funcionamiento y mantenimiento preventivo de dichas redes.

5. Con la integración de dos redes SDH bajo un mismo sistema de gestión se logra la reducción de fallas, costos y personal de operación, y a la vez permite el aumento del tiempo de respuesta ante contingencias, mayor fiabilidad de la red y un control completo sobre los elementos de red dentro de un área metropolitana.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de dar por iniciada la integración de ambas gestiones, se debe haber definido la red que será la primaria. Es en esta en la que se integrará la información de la base de datos de ambas redes.
2. Se debe definir un cronograma de trabajo que especifique un lapso en el cual la red secundaria sea congelada a fin de evitar modificaciones que generen inconsistencias a nivel de base de datos, una vez integradas las gestiones.
3. Las operaciones de puesta en uso de equipos, troncales y circuitos lógicos pueden ser realizadas durante un horario normal de trabajo, sin embargo, queda a consideración del proveedor de servicios evaluar los servicios que son considerados de alta prioridad para ser programadas las actividades sobre ellos en ventanas de mantenimiento en horario nocturno.
4. Se planteó los pasos para lograr la integración de dos redes de equipos bajo un mismo fabricante; si se desea realizar una integración de equipos de distintos fabricantes, se pueden utilizar los mismos pasos teniendo en cuenta que el sistema de gestión al cual se migrarán las bases de datos debe ser capaz de operar con los lineamientos de operación propios de ambos fabricantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARBA, Antoni. *Gestión de red*. España: Universidad Politécnica de Cataluña, 1999. 231 p. ISBN: 978-8-483-01212-3.
2. BREGNI, Stefano. *Synchronization of digital telecommunications networks*. Inglaterra: John Wiley & Sons LTD, 2002. 430 p. ISBN: 978-0-471-61550-7.
3. CAPMANY, José; ORTEGA, Beatriz. *Redes ópticas*. España: Universidad Politécnica de Valencia. 2006. 376 p. ISBN: 978-8-483-63001-3.
4. HERRERA PÉREZ, Enrique. *Introducción a las telecomunicaciones modernas*. México: Limusa. 1998. 410 p. ISBN: 978-968-185506-2.
5. ITU-T. *Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía síncrona*. G.803 [en línea]. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.803-200003-I!!PDF-S&type=items>. [Consulta: 28 de enero de 2015].
6. _____. *Aspectos de gestión de los elementos de red de transporte de la jerarquía digital síncrona (SDH)*. G.784 [en línea]. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.784-200803-I!!PDF-E&type=items>. [Consulta: 4 de marzo de 2015].

7. _____ . *Funciones de gestión de la red de gestión de las telecomunicaciones.* M.3400 [en línea]. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-M.3400-200002-I!!PDF-S&type=items>. [Consulta: 20 de abril de 2015].

8. _____ . *Gestión de redes de multi-tecnología.* M.3170.2 [en línea]. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-M.3170.2-200703-I!!PDF-E&type=items>. [Consulta: 13 de abril de 2015].

9. _____ . *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.* G.707 [en línea]. <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.707-200701-I!!PDF-E&type=items>. [Consulta: 18 de noviembre de 2014].