

**DISPONIBILIDAD Y SUPERVIVENCIA DE REDES SDH EN ANILLOS
METROPOLITANOS**

**JHON RONALD TERREROS BARRETO
SERGIO ENRIQUE VILLALOBOS FLOREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
MINOR EN COMUNICACIONES Y REDES
CARTAGENA D. T Y C
2004**

**DISPONIBILIDAD Y SUPERVIVENCIA DE REDES SDH EN ANILLOS
METROPOLITANOS**

**JHON RONALD TERREROS BARRETO
SERGIO ENRIQUE VILLALOBOS FLOREZ**

**Monografía presentada para optar
al título de Ingeniero Electrónico**

**GONZALO LOPEZ VERGARA
Ingeniero Electrónico
Director**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
MINOR EN COMUNICACIONES Y REDES
CARTAGENA D. T Y C
2004**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena D. T y C, mayo de 2004

Cartagena de Indias, 27 de mayo de 2004

Señores:
Universidad Tecnológica de Bolívar
Comité de Evaluación de Proyectos
Ciudad

Estimados Señores:

Con el mayor agrado me dirijo a ustedes para poner a consideración la monografía titulada "Disponibilidad y Supervivencia de Redes SDH en Anillos Metropolitanos", la cual fue llevada a cabo por los estudiantes Jhon Ronald Terreros Barreto y Sergio Enrique Villalobos Flórez bajo mi asesoría y dirección.

Agradeciendo su amable atención,

Cordialmente,

Gonzalo López Vergara
Ingeniero Electrónico

Cartagena de Indias, 27 de mayo de 2004

Señores:
Universidad Tecnológica de Bolívar
Comité de Evaluación de Proyectos
Ciudad

Estimados Señores:

De la manera mas cordial, nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación la monografía titulada "Disponibilidad y Supervivencia de Redes SDH en Anillos Metropolitanos", presentado para optar al titulo de Ingeniero Electrónico a su vez aprobar el Minor de Comunicaciones y redes.

Esperamos que este proyecto sea de su total agrado.

Cordialmente,

Jhon Ronald Terreros Barreto
C.C. 73192723 de Cartagena

Sergio Enrique Villalobos Flórez
C.C. 73185493 de Cartagena

DEDICATORIA

*A mi madre Isabel Barreto
Y mis hermanos Jorgelis y Leslie Terreros,
Gracias a sus consejos y apoyo incondicional
He podido superar muchos obstáculos
De la vida y seguir adelante*

*A mi Padre Jorge Terreros,
aunque no este viviendo conmigo
lo quiero y respeto mucho*

Jhon Ronald Terreros Barreto

DEDICATORIA

A Nancy y a Neme

Sergio E. Villalobos

AGRADECIMIENTOS

a Dios por darnos sabiduría, responsabilidad, paciencia y resistencia para llevar a cabo la monografía.

a ELKIN ROMERO MATURANA, Ingeniero Electrónico y Profesional en Transmisión de Colombia Telecomunicaciones de Cartagena, por habernos facilitado material valioso para llevar a cabo la monografía.

a FRANCISCO JIMENEZ, Ingeniero Electrónico y Jefe De Operaciones de Promitel de Cartagena, por habernos facilitado material valioso para llevar a cabo la monografía.

a GONZALO LOPEZ VERGARA, Ingeniero Electrónico y Docente de la Universidad Tecnológica de Bolívar, por habernos guiado, enseñado todos sus conocimientos no solo en el desarrollo de la monografía si no también cuando impartió sus clases con nosotros.

a ELKIN GIOVANNY BELILLA, JEFE DE Operaciones Seccional Bolívar de Colombia Telecomunicaciones de Cartagena, por habernos permitido usar las instalaciones de Telecom para fines académicos.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerzas del mercado que actúan sobre SDH	5
Figura 2. Evolución global en el mercado de las comunicaciones síncronas	10
Figura 3. Distribución global de PDH y SDH en proporción de su crecimiento total	11
Figura 4. Modelado por capas de SDH	15
Figura 5. Diagrama esquemático de una red de comunicaciones híbrida	15
Figura 6. Regenerador	16
Figura 7. Multiplexor Terminal	17
Figura 8. Add/Drop Multiplexor	17
Figura 9. Cross Connect	18
Figura 10. Estructura de multiplexación SDH y SONET	19
Figura 11. Dos tramas SDH consecutivas	21
Figura 12. Distintas secciones de la trama STM – 1	24
Figura 13. Designación de la trayectoria entre secciones	25
Figura 14. Regenerator Section Overhead	26
Figura 15. Multiplexer Section Overhead	27
Figura 16. Path Overhead	28
Figura 17. Protección en función de la indisponibilidad del sistema	31

Figura 18. Mecanismos de Protección de Redes	33
Figura 19. Funciones de los bytes K1 y K2	35
Figura 20. Protección 1+1	36
Figura 21. Funcionamiento del mecanismo de protección bidireccional 1:1	38
Figura 22. Anillo unidireccional conmutado por trayectoria de dos fibras	42
Figura 23. Red de anillo configurada con SNCP	45
Figura 24. Drop & Continue D/C W INS W	48
Figura 25. Drop & Continue	50
Figura 26. Drop & Continue – 1ra falla	51
Figura 27. Drop & Continue – 2da falla	51
Figura 28. Conexión 2F MS SPRING	53
Figura 29. Conexión 2F MS-SPRING con cuatro nodos	54
Figura 30. Operación de un puente lado este	56
Figura 31. Operación de un conmutador lado oeste	56
Figura 32. Operaciones de recuperación en rotura de línea	57
Figura 33. Ejemplo de operación de 2F MS-SPRING.	59
Figura 34. Silenciamiento sobre un nodo aislado	61
Figura 35. MS SPRING Drop and Continue	63
Figura 36. 4F MS SPRING	64
Figura 37. Conexión 4F MS-SPRING con cuatro nodos.	65
Figura 38. Conmutación de tramo	65
Figura 39. 4F Conmutación de anillo	66

Figura 40. Comparación de capacidad de tráfico entre anillos unidireccionales y bidireccionales de 2 y 4 fibras para un sistema de alta capacidad STM-16	68
Figure 41. Conexión 1 + N, bitributarios eléctricos 140 Mbit/s / 155 Mbit/s	71
Figura 42. Operación EPS	73
Figura 43. EPS para CRU	75
Figura 44. Cobertura de la red de Promitel Cartagena	77
Figura 45. Arquitectura de la red de Promitel	78
Figura 46. Anillo metropolitano Promitel	78
Figura 47. Red de Transmisión de CARTAGENA	
Equipo SDH ALCATEL 1641 SM y 1664 SM	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de los hilos del anillo de fibra óptica de ISA	7
Tabla 2. Jerarquía SDH	20
Tabla 3. Función de los bytes de gestión de la SOH	29
Tabla 4. Capacidad 2F MS SPRING	67
Tabla 5. Capacidad 4F MS SPRING	68
Tabla 6. Comparación De Las Redes De Promitel Y Telecom	83

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. UNA INFRAESTRUCTURA SUBMARINA PARA SOPORTAR EL DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN AMÉRICA LATINA.	90
ANEXO B. EQUIPO SDH LUCENT TECHNOLOGIES DE PROMITEL	102
ANEXO C. EQUIPOS SDH ALCATEL COLOMBIA TELECOMUNICACIONES	103

GLOSARIO

ADD/DROP (ADM): Módulo de inserción y extracción

ATM: Transferencia *asíncrono*

APS: La protección automática de conmutación

AU PTR: (administrator unit Pointer), unidad administrativa

BSHR: Anillo de Restauración Automática Bidireccional

BLSR: Anillo Bidireccional Por Conmutación De Línea

CRU: Unidad de Referencia del Reloj

CV = VC: Contenedor virtual

DPRING: Anillo de Protección Dedicada

DROP & CONTINUE: Suprimir y Continuar

EPS: Conmutación de Protección de Equipos

GUT = TUG: Tributary Unit Group, Grupos de unidades tributarios

MS: Secciones múltiplex

MSP: Protección de Las Secciones Múltiplex

MS-SPRING: Anillo De Protección Compartida

MSOH: (Multiplexer Section Overhead), encabezado de la sección de multiplexación

NE: Elementos de red

OAM: Operaciones, la administración y el mantenimiento

PASS-THROUGH: Canal de Paso

PATH OVERHEAD: Encabezado de trayectoria” (información extra de trayectoria)

PAYLOAD: Carga Útil.

PAYLOAD OVERHEAD: Encabezado de trayecto.

PDH: Jerarquía digital Plesiócrona)

RSOH: (Regenerador Section Overhead), encabezado de la sección de regeneración

SDH: *Synchronous digital hierarchy*, jerarquía digital sincrónica

SECTION OVERHEAD: Encabezado de sección

SNCP: Protección de subredes de conexión

SQUELCHING FUNCTION: Función de silenciamiento

OH: Encabezado de sección

SONET: *Synchronous optical NETWORK*, red óptica sincrónica

STM-1: *Synchronous transport module-1*, módulo de transporte sincrónica 1.

UPSR: Anillo Unidireccional De Conmutación De Trayecto

USHR: Anillo De Restauración Automática Unidireccional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. HISTORIA Y EVOLUCION DE LA RED SDH	3
1.1 HISTORIA	3
1.2.1 Evolución de la red en Colombia	5
1.2.2 Evolución de SDH en el mundo	9
2. FUNDAMENTOS DE SDH	12
2.1 DEFINICIÓN DE SDH	12
2.1.1 Ventajas de SDH	12
2.2 MODELADO POR CAPAS DE LA RED SDH	14
2.3 COMPONENTES DE LA RED SDH	15
2.3.1 Regeneradores	16
2.3.2 Multiplexores	17
2.3.3 Multiplexores add/drop (ADM)	17
2.3.4 Transconectores digitales (DXC)	18
2.4 ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN Y JERARQUÍA SDH	18
2.5 TRAMA BÁSICA SDH	20
2.6 CARGA ÚTIL	21
2.7 ANÁLISIS DE LOS OVERHEAD	24
2.7.1 Regenerator Section Overhead	25

2.7.2	Multiplexer Section Overhead	26
2.7.3	Path Overhead	27
3.	LA DISPONIBILIDAD Y SUPERVIVENCIA EN LAS REDES SDH	30
3.1	DISPONIBILIDAD EN REDES SDH	30
3.2	PROTECCION DE REDES SDH	33
3.3	PROTECCIÓN DE SECCIONES MÚLTIPLEX (MSP)	34
3.3.1	Protección 1+1	36
3.3.2	Protección 1: N	37
3.4	PROTECCIÓN SDH BASADAS EN ARQUITECTURAS DE ANILLOS	39
3.4.1	Anillo de Restauración Automática Unidireccional (USHR)	40
3.4.2	Anillo De Restauración Automática Bidireccional (BSHR)	42
3.5	ARQUITECTURAS DE ANILLOS BASADAS EN USHR	43
3.5.1	SNCP (SubNetwork Connection Protection)	43
3.5.2	Drop & Continue	46
3.6	ARQUITECTURAS DE ANILLOS BASADAS EN BSHR	52
3.6.1	Mecanismo de protección bidireccional de 2 fibras (2F MS-SPRING)	52
3.6.2	Mecanismo de protección bidireccional de 4 fibras (4F MS-SPRING)	63
3.6.3	Ancho de banda de MS-SPRING	66
3.7	CONMUTACIÓN DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS (EPS)	69
3.7.1	Tipo de protección para unidades de tributarios	69
3.7.2	Modo de operación de la conmutación EPS	72
3.7.3	EPS para CRU (Clock Reference Unit)	74

4. PRINCIPALES REDES SDH METROPOLITANAS DE CARTAGENA	76
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED PROMIGAS TELECOMUNICACIONES	76
4.1.1 Red de fibra	76
4.1.2 Cobertura	77
4.1.2 Arquitectura de la red	78
4.1.3 Equipos ADM y disponibilidad de la red Promitel	79
4.2.1 La red de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES en Cartagena	81
4.2.2 Equipos ADM y disponibilidad de la red de TELECOM	82
4.3 COMPARACIÓN DE LAS REDES DE PROMITEL Y TELECOM	83
5. CONCLUSIONES	85
BIBIOGRAFÍA	88
ANEXOS	90

RESUMEN

Esta monografía esta orientada a comparar las diferentes configuraciones de protecciones de red y de equipos SDH utilizados en empresas que presten este servicio a nivel local con otros tipos de configuraciones existentes.

Para este fin esta monografía se encuentra distribuida de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se describe la historia de la jerarquía digital sincrónica (SDH), donde y cuando nace, su posicionamiento y crecimiento a través del tiempo a nivel nacional y mundial. Además de esto se realiza una breve descripción de las redes de las diferentes empresas que están utilizando esta tecnología en la actualidad.

En el capítulo 2 Se define la tecnología SDH como red de transporte destacando cuales con sus ventajas con respecto a su tecnología antecesora PDH, su modelado por capas, estructura de trama básica, los componentes típicos que se encuentran en este tipo de redes y el análisis de las cabeceras u overhead que contiene la trama básica SDH.

En el capítulo 3 se describen el concepto de disponibilidad y supervivencia de las redes SDH y todas las configuraciones de protección de equipo y de red existentes en los anillos metropolitanos

Finalmente se realiza un análisis y comparación de las redes de Promitel y Telecom, recalando algunos parámetros utilizados por dichas empresas para luego tomar un juicio final sobre estos.

INTRODUCCIÓN

Hoy día las telecomunicaciones es uno de los pilares más importantes para la sociedad. Por eso, el corte de servicios por cualquier causa, ya sea un error humano ó un fallo de un componente, puede originar costosas interrupciones de servicio a partes importantes de la comunidad. Mantener la disponibilidad del servicio, aún en condiciones de fallo, se ha convertido en un objetivo primordial para la ingeniería. La capacidad de supervivencia de la red de transporte frente a la rotura de cables ó fallos de equipo es una obligación, al tiempo que la fácil recuperación frente a un desastre grave es la principal preocupación, tanto operacional como de planificación, para los operadores de red.

El impacto en el servicio al fallar la red de transporte depende naturalmente de la magnitud del fallo, pero no es igual para todos los servicios. Por ejemplo, la telefonía de voz puede seguir funcionando satisfactoriamente en presencia de un fallo bastante grande, ya que las redes telefónicas se suelen planificar para suministrar físicamente diferentes capacidades de transporte entre los nodos de la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada). Al momento de un fallo, las llamadas que están utilizando las líneas de trabajo (donde se establecen las conexiones) no se ven interrumpidas, esto gracias a la rápida acción de conmutación que realizan los equipos sobre otras líneas que sirven de protección. Suponiendo que esto no

sucede con frecuencia, el inconveniente se considera como menor y aceptable. Si hay una provisión inadecuada en términos de capacidad de reserva, de forma que la congestión se deba a los reintentos de llamadas, el impacto en el servicio llegará a ser inaceptable.

SDH proporciona una serie de mecanismos autónomos normalizados que suministran la capacidad de supervivencia frente a la mayoría de los fallos físicos del más bajo nivel, mientras que la flexibilidad gestionada de una red SDH bien planificada proporciona, de forma eficaz, facilidades básicas para el soporte del restablecimiento del servicio.

En esta investigación se explora la necesidad de la supervivencia, introduce el concepto de disponibilidad y explica como se utilizan los diferentes mecanismos y arquitecturas de protección en anillo para mejorar la disponibilidad. Además, se relacionan estos tipos de protección con los utilizados a nivel metropolitano.

1. HISTORIA Y EVOLUCION DE LA RED SDH

1.1 HISTORIA

La historia de la Jerarquía Digital Sincrónica SDH comienza cuando en 1985 la Bellcore (*Bell Communication Reserch*) propone una normalización al comité de estándar ANSI con el propósito de normalizar una jerarquía digital para los operadores de fibras ópticas que funcionan en forma sincrónica. Conocida como Sonet (*Synchronous Optical Network*), se basa en el antecedente Syntram (*Synchronous Transmission Network*) que fue desarrollado en USA en los años 70 con multiplexores sincrónicos de 28x1,5 Mb/s equivalente a DS3 44736 kb/s.

ANSI normalizó la jerarquía digital para Sonet en T1.105; la jerarquía para fibra óptica monomodo en T1.106 y la interfaz óptica en T1.117. Luego, ANSI lo propuso a la ITU-T (en ese momento CCITT) en 1986. En el ITU-T la Bellcore propone una velocidad sincrónica de 50.638 kb/s, mientras que la AT&T propone en cambio el valor de 146.432 kb/s.

El ITU-T efectúa cambios substanciales para unificar las distintas redes digitales introduciendo la velocidad de 155.520 kb/s y genera las Recomendaciones sobre la SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) en 1988. Las recomendaciones ITU-T G.707/708/709 contienen la forma de armado de tramas. En G.781/782/783 se dispone de la información referente a los multiplexores; en G.784 (junto con las

M.3010 y G.773) la información referida a la gestión y administración de la red TMN y en la G.957/958 la información referida a interfaces para dichos sistemas. Sin embargo, desde 1988 al día de hoy, se han hecho 6 modificaciones de las recomendaciones, estando vigente hoy en día solamente la recomendación G707, que es la que se utiliza actualmente.

1.2 EVOLUCIÓN DE LA RED SDH

La evolución de la red de transporte SDH se ha encontrado íntimamente ligada a la presión que ejerce el mercado. El SDH se desarrolla en un momento en el que todos los operadores se encuentran presionados para reducir los costes de operación e incrementar la respuesta y fiabilidad de los servicios. Estos impulsos del mercado se han hecho más intensos en el moderno entrono de multioperadores fragmentado. Los circuitos integrados de silicio de altas prestaciones, la óptica multigigabit y las potentes nuevas tecnologías proporcionan el impulso tecnológico. Son las presiones que están impulsando al desarrollo del SDH y determinando su contenido¹ (*Figura 1*).

¹ DANNEELS, J. y GRANELLO, G. Panorámica de la evolución de los métodos de transporte. En: COMUNICACIONES ELECTRICAS. 4º Trimestre 1993. Pág.: 295-298.

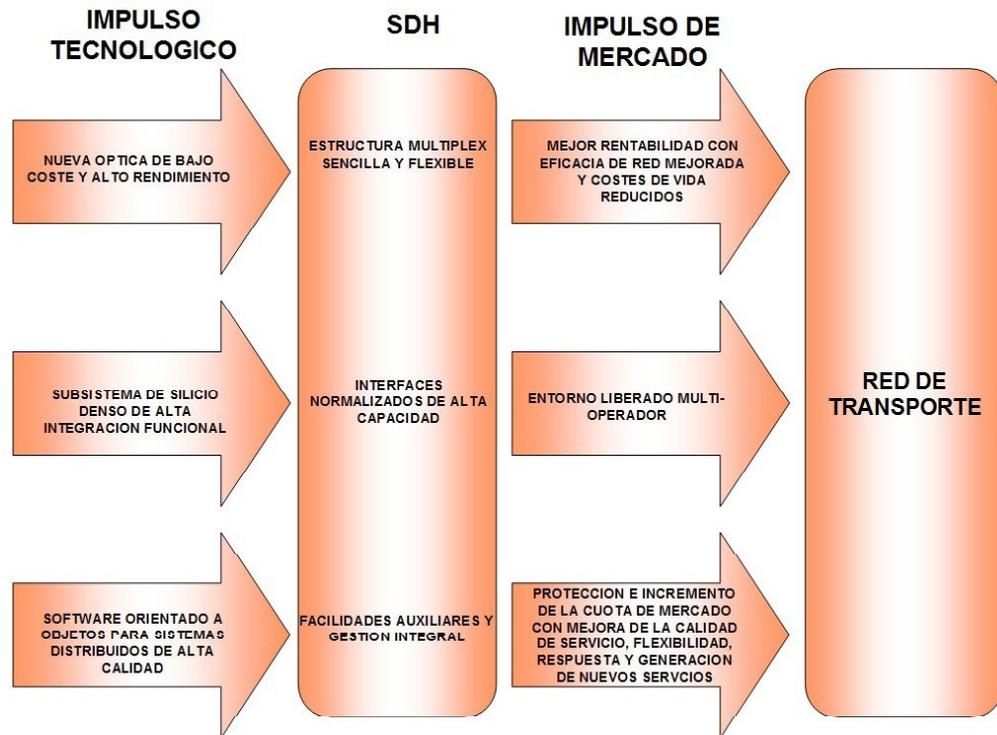


Figura 1. Fuerzas del mercado que actúan sobre SDH

1.2.1 Evolución de la red en Colombia

La SDH como nueva tecnología de la red de transporte, empieza su comercialización desde el año 1992 hasta 1994. En 1993 TELECOM² adquirió el primer sistema SDH (Bogotá – Chocontá), contando a nivel operativo con la red troncal, desde el segundo semestre de 1995 (con radio enlaces), más adelante se adquirió la red de fibra óptica la cual entra en operación en 1998 y se cuenta con

² COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP a partir del año 2003.

anillos en las principales capitales de departamentos³. La evolución de SDH continúa al nivel de los multiplexores flexibles tipo SDH para la red de acceso y la inserción de la tecnología SDH dentro de las centrales de conmutación digital, mejorando su funcionalidad e interconexión.

Actualmente la mayoría de las empresas de telecomunicaciones en Colombia utilizan la red de transporte SDH. A continuación se muestran las redes de las principales empresas de telecomunicaciones⁴.

1.2.1.1 Red de TELECOM

Opera una red de transmisión compuesta por la superposición de diferentes redes como son su red análoga inalámbrica, una red de microondas digital PDH, una red de microondas digital SDH y su anillo troncal de fibra óptica de cobertura nacional. En el capítulo 4 se hará un estudio más detallado sobre la infraestructura de la red.

1.2.1.2 Red de ISA

Opera una red nacional consistente en un anillo de fibra óptica de cuarenta y ocho hilos, (veinticuatro pares) que une las ciudades de Bogotá, Cali y Medellín, así

³ PARRA GUARÍN, Marco Abel. “SDH Evolución de la red y estructura de multiplexación: Principios básicos, acrónimos y abreviaturas de la red de transporte basada en SDH”. Vol.1. Bogotá, 1999. Pág: 31-32

⁴ El Servicio Portador. [Artículo en Internet].
http://www.crt.gov.co/documentos/infeconomica/publi_sector/Cap8_ElServicioPortador.pdf

como una red de microondas digital y enlaces satelitales que proveen conectividad a las demás áreas de cobertura de la empresa, al mismo tiempo que garantizan la redundancia del sistema. La Tabla 1 muestra la distribución de los hilos.

Las capacidades de transmisión de la red de ISA están disponibles en rangos desde un E1 hasta un STM-16. Igualmente posee un backbone de alta capacidad, el cual interconecta las doce principales ciudades del país. Cuenta además con una plataforma tecnológica distribuida estratégicamente, que permite a sus clientes acceder a los servicios desde cualquier punto del territorio nacional.

Tabla 1. Distribución de los hilos del anillo de fibra óptica de ISA (Fuente ISA)

Grupo	Empresas	Pares	Participación
I	EPM, EMCATEL e Inversiones Bavaria	4 pares	16.67%
II	IMPSAT, Inversiones PTT (Grupo Sandford)	3 pares	12.5%
III	EdateL, EMTELCO	3 pares	12.5%
IV	ETB, Empresa de Energía Eléctrica (EEB)	3 pares	12.5%
V	Milenium Telecomunicaciones (Grupo Sarmiento Angulo)	4 pares	16.67%
ISA	Interconexión Eléctrica ISA	7 pares	29.16%
Total		24 pares	100%

La red nacional de fibra óptica esta soportada en las líneas de interconexión eléctrica; esta red esta equipada con sistemas de última tecnología STM-16. La red de microondas cuenta con radio enlaces digitales que usan la tecnología SDH (155 Mbps) en configuración⁵ 1 + 1, estos radio enlaces forman un anillo en el centro del país del cual se desprenden ramificaciones hacia la costa norte, la

⁵ Mecanismo de protección que será tratado más adelante.

región sur occidental y la región oriental. ISA espera interconectar su red con operadores internacionales y con varios cables submarinos que unan a Colombia con Norte América y Europa.

1.2.1.3 Red de ETB

La red metropolitana de la ETB incluye dos anillos municipales y diecisiete anillos locales. La red es 40% SDH y 60% PDH. La red troncal es 100% digital, con lo que puede migrar a un sistema gerencial TMN. Adicionalmente la ETB cuenta con una red nacional de larga distancia, la cual tiene componentes tanto de fibra óptica como de microondas. Adicionalmente la esta infraestructura, ETB posee tres pares de la red de cable de fibra óptica de ISA OPGW.

1.2.1.4 Red de EPM

La red de EPM tiene un SDH backbone de fibra óptica. La red metropolitana comprende 575 Kms en cuatro anillos STM-16. La red esta en un 60% compuesta por terminales SDH y un 40% corre sobre una plataforma PDH.

1.2.1.5 Red de EMCATEL

Se encuentra expandiendo su backbone urbano de fibra óptica de 286 Km, la cual consta de tres anillos y dos estrellas. La transmisión SDH cubre el 80% de la red,

mientras que el restante 20% opera sobre una plataforma PDH. En 1997, Emcatel planeó expandir esta red de fibra a nueve zonas adicionales en la ciudad de Cali empezando a finales de 1998. Así mismo está instalando tres enlaces de microondas de 15 GHz y 10 de 23 GHz para extender su back-haul red urbana. La ampliación de capacidad de las redes de transmisión, esta sujeta también a la capacidad disponible en las redes de distribución locales, las cuales no permiten de manera generalizada el tráfico de banda ancha. Sin embargo, en la medida que las redes locales muestren un rápido desarrollo, así mismo se pueden esperar crecimientos significativos en el sector de la transmisión de información de información de las redes portadoras.

1.2.2 Evolución de SDH en el mundo

En general, el mercado de transmisión está en un período de crecimiento. Según las predicciones la tasa de crecimiento está en un promedio global de alrededor del 5.5%⁶. Hay, sin embargo, vastas diferencias regionales. El crecimiento en el Oeste de Europa se espera sea cero, pero el crecimiento en Europa Central y Este es estimado hasta 22%. La Figura 2 ilustra lo anterior:

⁶ SCHULTZ, Stephan. SDH Pocket Guide. Vol. 1. Pág: 4. [Artículo en Internet]. <http://magda.elibel.tm.fr/refs/telecom/sdh.pdf>

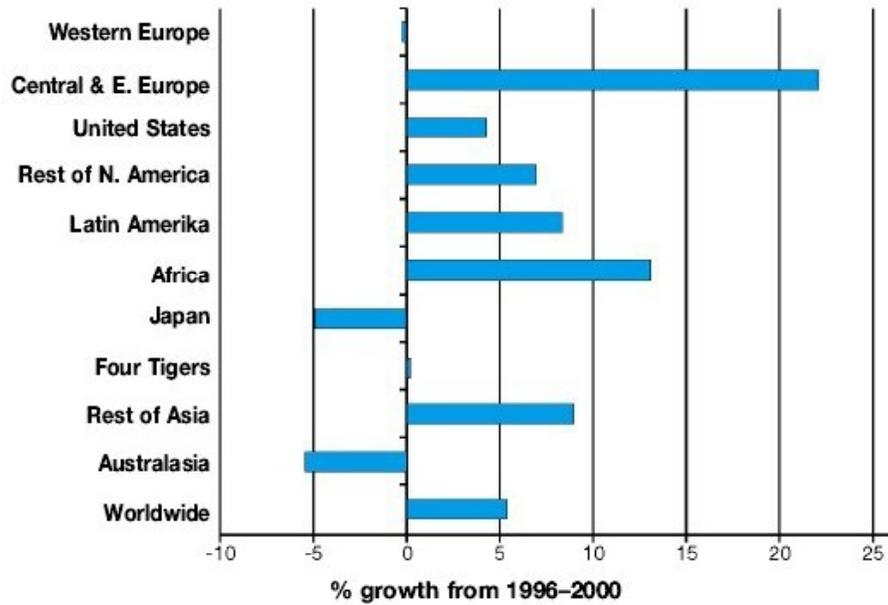


Figura 2. Evolución global en el mercado de las comunicaciones síncronas
(Fuente: SDH Pocket Guide)

Debido a que la calidad de SDH es distinta de otras tecnologías como PDH, más proveedores de red se están cambiando a esta tecnología. La Figura 3 muestra claramente como el mercado de SDH ha crecido con respecto a SDH⁷:

⁷ *Ibíd.* Pág.: 5

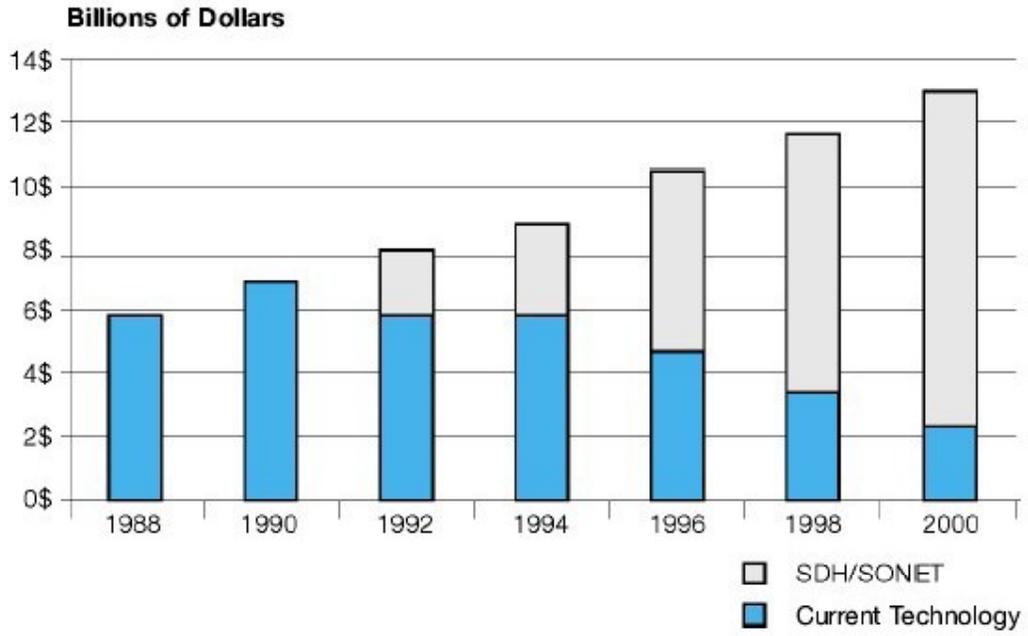


Figura 3. Distribución global de PDH y SDH en proporción de su crecimiento total.
(Fuente: SDH Pocket Guide)

2. FUNDAMENTOS DE LA JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA (SDH)

2.1 DEFINICIÓN DE SDH

SDH es un estándar para redes de telecomunicaciones de “alta velocidad, y alta capacidad”; más específicamente es una jerarquía digital sincrónica. Este es un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible⁸.

2.1.1 Ventajas de SDH

La tecnología SDH, ofrece a los proveedores de redes las siguientes ventajas⁹:

2.1.1.1 Altas velocidades de transmisión

Actualmente se logran velocidades de hasta 10 Gbit/s, siendo SDH la tecnología mas adecuada para los backbones.

⁸ Existen tantas definiciones como autores de SDH. Esta definición fue tomada del tutorial “SDH Fundamentals” de Hewlett Packard.

⁹ SCHULTZ, Stephan. SDH Pocket Guide. Vol. 1. Pág: 6-8. [Artículo en Internet]. <http://magda.elibel.tm.fr/refs/telecom/sdh.pdf>

2.1.1.2 Función simplificada de Add/Drop

Ahora es mucho más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas SDH de alta velocidad. Ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona debido a que en SDH todos los canales están identificados por medio de “etiquetas” que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.

2.1.1.3 Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación

Permite a los proveedores de redes reaccionar rápida y fácilmente frente a las demandas de sus clientes. Por ejemplo, conmutar las líneas alquiladas es sólo cuestión de minutos. Empleando un sistema de gestión de redes de telecomunicaciones, el proveedor de la red puede usar elementos de redes estándar controlados y monitorizados desde un lugar centralizado.

2.1.1.4 Fiabilidad

SDH incluye varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema. Un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red, lo que podría ser un desastre financiero para el proveedor. Estos circuitos de protección también se controlan mediante un sistema de gestión.

2.1.1.5 Plataforma a prueba de futuro

Hoy día, SDH es la plataforma ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, WAN, etc.) y es igualmente adecuada para los servicios más recientes, como el video bajo demanda (VOD) o la transmisión de video digital vía ATM.

2.2 MODELADO POR CAPAS DE LA RED SDH

Las redes SDH están subdivididas en diversas capas que están directamente relacionadas a la topología de la red (Figura 4). La capa inferior es la física, la cual representa el medio de transmisión. Ésta es usualmente una fibra de vidrio o posiblemente un enlace por radio o satélite. La sección de regeneración es el camino entre regeneradores. La RSOH (tara de sección de regeneración), está disponible para la señalización requerida dentro de esta capa.

La MSOH (tara de sección de multiplexación) sirve para las necesidades de la sección múltiplex. La sección múltiplex cubre la parte del enlace SDH entre multiplexadores. Los contenedores virtuales están disponibles como la carga útil de las secciones RSOH y MSOH.

Las dos capas VC representan una parte del proceso del mapeo. El mapeo es el procedimiento por medio del cual las señales como PDH y ATM son empaquetadas en módulos de transporte SDH. La Figura 4 describe el modelado por capas de SDH.

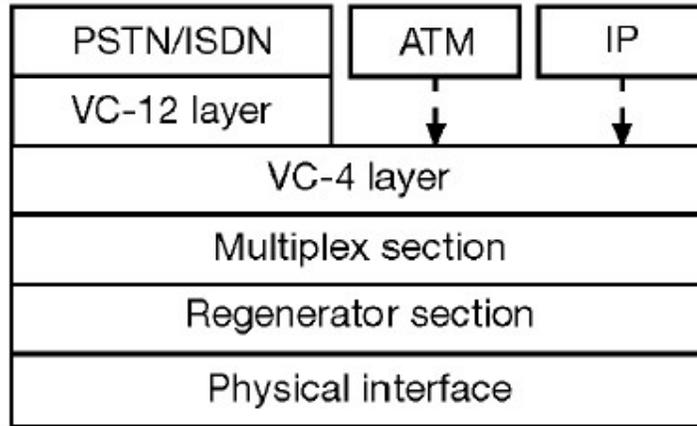


Figura 4. Modelado por capas de SDH. (Fuente: SDH Pocket Guide)

2.3 COMPONENTES DE LA RED SDH

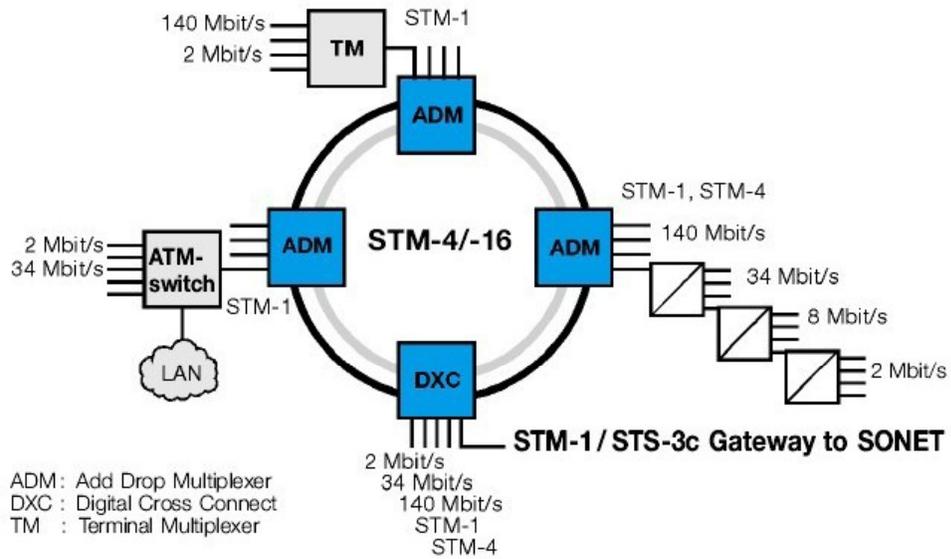


Figura 5. Diagrama esquemático de una red de comunicaciones híbrida. (Fuente: SDH Pocket Guide)

La Figura 5 es un diagrama esquemático de una estructura SDH en anillo con varias señales tributarias. La mezcla de varias aplicaciones diferentes es típica de los datos transportados por la red SDH. Las redes síncronas deben ser capaces de transmitir las señales plesiócronicas y, al mismo tiempo, ser capaces de soportar servicios como ATM. Todo ello requiere el empleo de distintos tipos de elementos de red. De ellos hablaremos en esta sección. Las redes SDH actuales están formadas básicamente por cuatro tipos de elementos¹⁰. La topología (estructura de malla o de anillo) depende del proveedor de la red.

2.3.1 Regeneradores

Como su nombre implica, los regeneradores se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores (Figura 6). Obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante. Los mensajes se reciben extrayendo varios canales de 64 kbit/s (por ejemplo, los canales de servicio E1, F1) de la cabecera RSOH. También es posible enviar mensajes utilizando esos canales.



Figura 6. Regenerador

¹⁰ SCHULTZ, Stephan. SDH Pocket Guide. Vol. 1. Pág: 12-14. [Artículo en Internet]. <http://magda.elibel.tm.fr/refs/telecom/sdh.pdf>

2.3.2 Multiplexores

Se emplean para combinar las señales de entrada plesiócronicas y terminales: síncronas en señales STM-N de mayor velocidad (Figura 7).



Figura 7. Multiplexor Terminal

2.3.3 Multiplexores add/drop (ADM)

Permiten insertar (o extraer) señales plesiócronicas y síncronas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad. Gracias a esta característica es posible configurar estructuras en anillo, que ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva en caso de fallo de alguno de los elementos del trayecto (Figura 8).

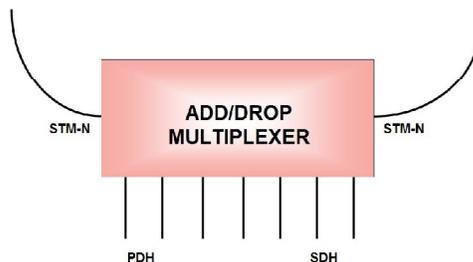


Figura 8. Add/Drop Multiplexer

2.3.4 Transconectores digitales (DXC)

Este elemento de la red es el que más funciones tiene. Permite mapear las señales tributarias PDH en contenedores virtuales, así como conmutar múltiples contenedores, hasta VC-4 inclusive (Figura 9).

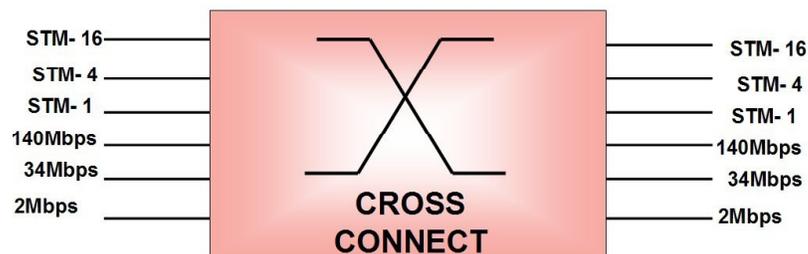


Figura 9. Cross Connect

2.4 ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN Y JERARQUÍA SDH

La Figura 10 muestra el mapeo que se hace para llegar de señales ATM, IP, PDH y SONET a una señal básica de SDH, es decir a una trama STM-1.

Tomando como ejemplo la velocidad de 2Mb/s (E1) se ve que tomando 3 TU (Unidades Tributarias), se forma un TUG2 (Grupo de Unidades Tributarias de orden 2), agrupando 7 TUG, se forma una AU3 (Unidad Administrativa de orden 3), y por último agrupando 3 AU3, se forma una AUG (Grupo de Unidades Tributarias), a la cuál agregándole el SOH, forma la trama STM-1. A medida que

Tabla 2. Jerarquía SDH

Bit Rate	Abbreviated	SDH	SDH Capacity
51.84 Mbit/s	51 Mbit/s	STM-0	21 E1
155.52 Mbit/s	155 Mbit/s	STM-1	63 E1 or 1 E4
622.08 Mbit/s	622 Mbit/s	STM-4	252 E1 or 4 E4
2488.32 Mbit/s	2.4 Gbit/s	STM-16	1008 E1 or 16 E4
9953.28 Mbit/s	10 Gbit/s	STM-64	4032 E1 or 64 E4

STM = Synchronous Transport Module

2.5 TRAMA BÁSICA SDH

La trama básica de SDH es un bloque de 2430 bytes que se emite cada 125 useg. Puesto que SDH es sincrónica, las tramas se emiten hayan o no datos útiles que enviar. La velocidad de 8000 marcos/seg coincide perfectamente con la tasa de muestreo de los canales de PCM que se utilizan en todos los sistemas de telefonía digital.

Las tramas de 2430 bytes de SDH se pueden describir mejor como un rectángulo de bytes, de 270 columnas de ancho por 9 filas de altura. De este modo $8 \times 2430 = 19440$ bits se transmiten 8000 veces por segundo, dando una tasa de datos aproximada de 155,52 Mbps. Este es el canal básico de SDH y se llama STM-1 (synchronous transport module-1, módulo de transporte sincrónico 1). Todos los troncales de SDH son múltiplos de STM-1.

¹² Definida en la Recomendación ITU-T G.708 (07/99) y G.707 / Y.1322 (10/2000)

Las primeras 9 columnas de cada marco se reservan para Información de administración del sistema, como se ilustra en la Figura 11, mientras que las 261 restantes conforman el área de "carga útil" ("Payload"). Las primeras tres filas contienen el encabezado de la sección de regeneración (RSOH, Regenerator Section Overhead); la siguiente fila contiene el puntero de unidad administrativa (AU PTR, administrator unit Pointer). Finalmente, los últimos 5 bytes contienen el encabezado de la sección de multiplexación (MSOH, Multiplexer Section Overhead)¹³.

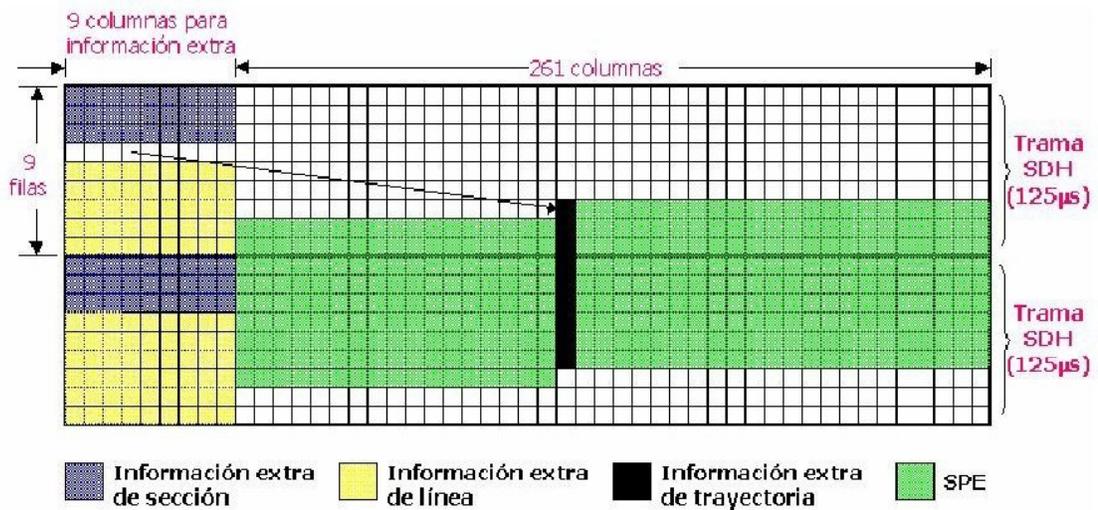


Figura 11. Dos tramas SDH consecutivas

2.6 CARGA ÚTIL

¹³ ULATE ARBULOVA, Marianne. Protección de Redes SDH. [Artículo en Internet]. <http://infoprogra.galeon.com/trabadsdh.pdf>

Las señales provenientes de todos los niveles de PDH pueden ser manejadas y conformadas en una red sincrónica, mediante el procedimiento de su ensamblaje en el área de carga útil de la trama STM-1.

Los tributarios sincrónicos se empaquetan o entran en el contenedor sincrónico apropiado, y se añade una única columna de nueve bytes denominada como "encabezado de trayecto" ("Payload Overhead") para crear el contenedor virtual (VC) correspondiente. El encabezado de trayecto contiene la información necesaria a utilizar para la gestión del trayecto sincrónico "de extremo-a-extremo" (esto es, la cabecera para el protocolo de subcapa de la trayectoria de extremo a extremo).

Sin embargo, los datos de usuario, llamado SPE (*synchronous payload envelope*, envoltura de carga útil sincrónica), no siempre empiezan en la fila 1, columna 10. La SPE puede empezar en cualquier parte dentro del marco. Una vez agregado el encabezado de trayecto, un puntero marca el principio del VC en relación con la trama STM-1. A partir de ese momento a la unidad se le denomina por Unidad Tributario (UT - TU, Tributary Unit) si transporta tributarios de orden Inferior, o Unidad Administrativa (AU = UAD, Administrative Unit) en el caso de que transporte tribútanos de orden superior.

Se pueden agrupar las unidades UT para formar grupos de unidades tributarios (GUT - TUG, Tributary Unit Group), que luego son entramados en un VC de orden superior.

Una vez que se llena el sector de carga útil de la trama STM-1 con la unidad mayor disponible, se genera un puntero que indica la posición relativa de dicha unidad dentro de la trama STM-1. A este puntero se le denomina puntero AU (PTR UAD) y forma parte del encabezado de sección de la trama.

La utilización de punteros en la estructura de la trama básica STM-1 implica que la red sincrónica puede aceptar y acomodar señales plesiócronicas sin necesidad de almacenamiento temporal, ya que la señal puede ser "empaquetada" en un contenedor virtual VC y ser insertada luego dentro de la trama en cualquier instante de tiempo. Entonces a partir de ese momento, el puntero indicará su posición. El empleo del método de punteros fue posible gracias a la definición de contenedores virtuales sincrónicos con tamaños ligeramente más grandes que la carga útil a transportar. Ello permite que la carga útil pueda acomodar deslizamientos en el tiempo, con respecto a la trama STM-1 que la contiene.

El ajuste de los punteros también es factible hacerlo cuando se suscitan pequeñas alteraciones de la frecuencia y fase como consecuencia de los retardos de propagación y otras condiciones similares.

Como corolario de todo lo anterior, ello significa que es posible Identificar en cualquier flujo de datos, los canales tributarios Individuales, así como extraer o insertar Informaciones, superando de esta forma una de las limitaciones más importantes que adolece la jerarquía PDH.

2.7 ANALISIS DE LOS OVERHEAD

Para los propósitos de la red de gestión y mantenimiento, la red de SDH puede ser descrita en función de tres diferentes sectores dentro de la red. Estas son la Multiplexer section overhead (MSOH), Regenerator section overhead (RSOH), y Path over head (POH, trayecto)¹⁴. En la Figura 12 se muestran las diferentes secciones dentro de la trama de SDH y en la Figura 13 como se designan estas secciones entre los diferentes equipos de red.

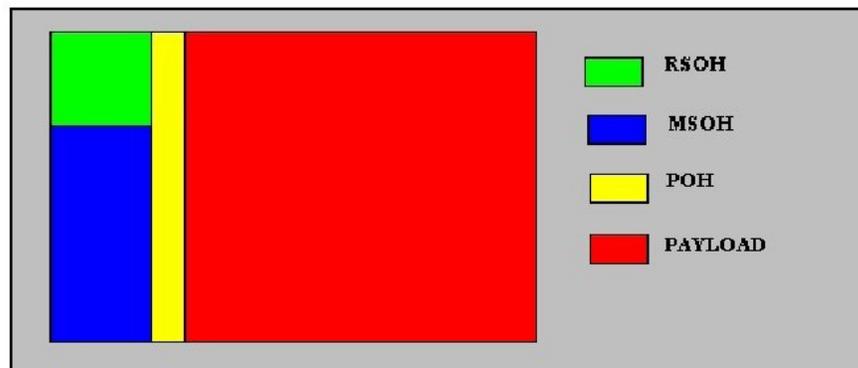


Figura 12. Distintas secciones de la trama STM – 1.
(Fuente: Tutorial SDF Fundamentals - Hewlett Packard)

¹⁴ Tutorial: SDH Fundamentals. Hewlett Packard. Rev. 3.16.

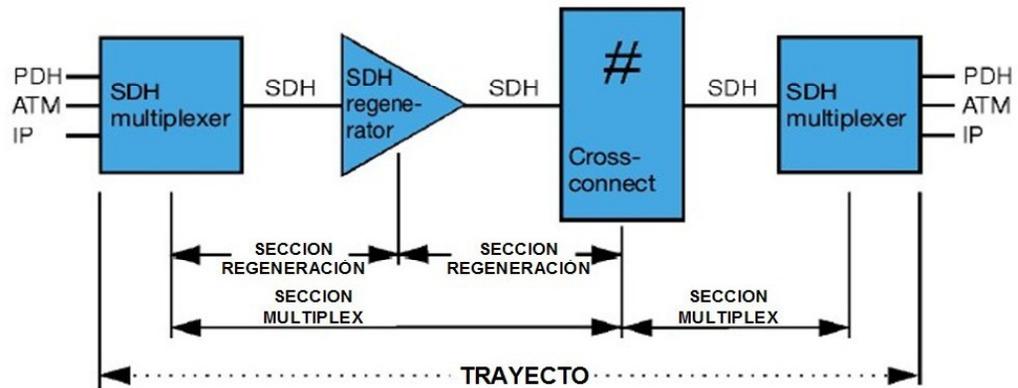


Figura 13. Designación de la trayectoria entre secciones. (Fuente: SDH Pocket Guide)

2.7.1 Regenerator Section Overhead

Esta sección está destinada a transferir información entre los elementos regeneradores. Es decir estos regeneradores tendrán acceso a la información que viene en los bytes del ROH, la sección regeneradora contiene una estructura de 12 bytes.

Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

- Chequeo de paridad
- Alineación de la trama
- Identificación de la STM-1
- Canales destinados a los usuarios (sin fines específicos)
- Canales de comunicación de datos
- Canales de comunicación vocales

El siguiente gráfico (Figura 14) muestra con más claridad la correspondiente sección y su área de injerencia.

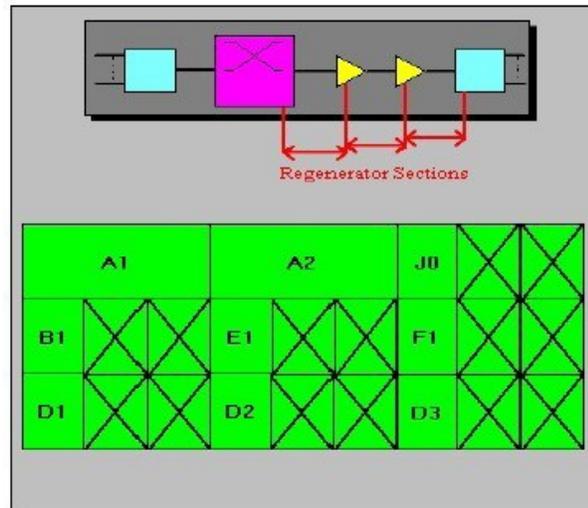


Figura 14. Regenerator Section Overhead.
(Fuente: Tutorial SDF Fundamentals - Hewlett Packard)

2.7.2 Multiplexer Section Overhead

Esta sección provee las funciones necesarias para monitorear y transmitir datos de la red de gestión entre elementos de red. Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

- Chequeo de paridad
- Punteros del payload
- Conmutación automática a la protección
- Canales de comunicación de datos

- Canales de comunicación vocales

La siguiente gráfica (Figura 15) representa esta área del SOH.

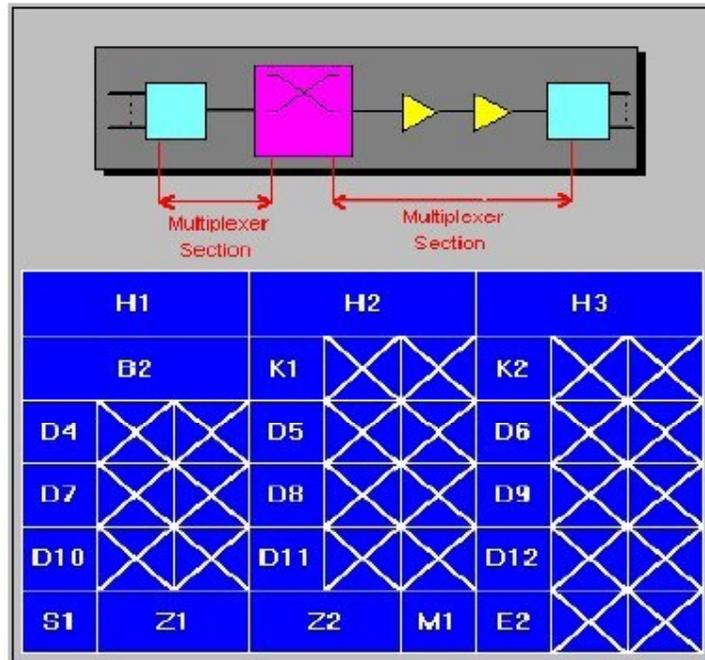


Figura 15. Multiplexer Section Overhead.
(Fuente: Tutorial SDF Fundamentals - Hewlett Packard)

2.7.3 Path Overhead

Esta sección está construida por nueve bytes, los cuales ocupan la primera columna de la STM-1, los mismos están destinados a manejar toda la información concerniente al camino por el cual circulará la comunicación. Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

- Mensajes de la trayectoria de camino

- Chequeo de paridad
- Estructura del virtual container
- Alarmas e información de performance
- Indicación de multitrama para las unidades tributarias
- Conmutación por protección de camino

La siguiente gráfica (Figura 16) muestra lo antes expuesto.

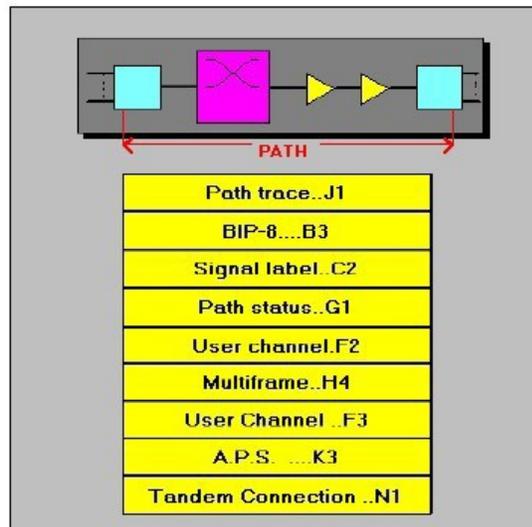


Figura 16. Path Overhead.
(Fuente: Tutorial SDF Fundamentals - Hewlett Packard)

La siguiente tabla resume la función de los bytes de gestión de la SOH

Tabla 3. Función de los bytes de gestión de la SOH (Fuente: SDH Pocket Guide)

Overhead byte	Function
A1, A2	Frame alignment
B1, B2	Quality monitoring, parity bytes
D1 ... D3	Q _{ECC} network management
D4 ... D12	Q _{ECC} network management
E1, E2	Voice connection
F1	Maintenance
J0 (C1)	Trace identifier
K1, K2	Automatic protection switching (APS) control
S1	Clock quality indicator
M1	Transmission error acknowledgment

Explicación adicional requieren los bytes K1 y K2 ya que son la base de la protección de los sistemas SDH.

3. LA DISPONIBILIDAD Y SUPERVIVENCIA EN LAS REDES SDH

Depender cada vez más de las telecomunicaciones conlleva a la necesidad de una alta disponibilidad y supervivencia de los servicios en las redes actuales. Esto es más evidente por la posibilidad de fallos en una red de fibra de gran capacidad con altos niveles de integración funcional en el equipo de nodos.

3.1 DISPONIBILIDAD EN REDES SDH

La disponibilidad **A** de un recurso en un período de tiempo se define como la relación entre el tiempo en que el recurso está disponible y el tiempo total. La medida ó el cálculo en un período de tiempo muy grande ó en un número estadísticamente significativo de instancias da la disponibilidad asintótica, que se utiliza como una medida general de comparación. La indisponibilidad **U** es el complemento de **A**, así $U = 1 - A$. Si consideramos constantes en el tiempo medio entre fallos ($= 1/\lambda$) y al tiempo medio de reparación ($= 1/\mu$) y si $\lambda \ll \mu$ entonces **U** es aproximadamente igual a la relación (λ/μ) .

Un camino SDH ó una conexión de subred tiene una indisponibilidad **U**, que es la suma de las indisponibilidades de las conexiones de sus enlaces componentes **U₁** y de las conexiones de la subred **U_{sn}**. **U₁** depende directamente de la indisponibilidad del trayecto servidor (trayecto HO ó sección múltiplex) y **U_{sn}** es la

suma de todas las $U\lambda$ y de todas las U_{sn} en el siguiente nivel de particionado de la misma capa. Asumiendo que $U_{sn} = U_c$ la indisponibilidad del equipo SDH que realiza la matriz básica es:

$$U = \Sigma U_1 + \Sigma U_{sn}$$

Aplicando esta expresión de manera recursiva dentro y entre capas se puede calcular la disponibilidad de un camino SDH, lo que da un conocimiento de la disponibilidad de los componentes individuales de la red física.

Un sistema auto-reconstruible (*self-healing*) es aquel en el que se suministran recursos redundantes que pueden sustituir a los recursos en fallo al detectarse un fallo. Teniendo en cuenta que la tasa de fallos asociada al mecanismo de detección y sustitución, λ_s , es mucho mejor que la del propio recurso y que la tasa de fallo del recurso, es tan pequeña que $\lambda^2 \ll \lambda_s$ se puede alcanzar una significativa mejora de la disponibilidad¹⁵. Esto se ilustra en la Figura 17.

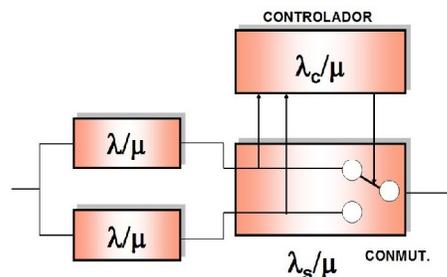


Figura 17. Protección en función de la indisponibilidad del sistema

¹⁵ BAUDRON, J., KHADR, A. y KOCSIS, F. Disponibilidad y supervivencia de las redes SDH. En: COMUNICACIONES ELECTRICAS. 4º Trimestre 1993. Pág.: 339-340.

El principio se usa en la protección de equipos SDH en los que los recursos son unidades reemplazables dentro de un equipo, y también en la protección de redes SDH donde los recursos son entidades de transporte tales como conexiones, trayectos ó secciones.

El término *protección* se utiliza normalmente cuando los recursos redundantes son fijos y están asignados previamente a una tarea específica de protección, mientras que el término *restablecimiento* se utiliza cuando la capacidad redundante no está asignada previamente, pero debe ser descubierta por alguna inteligencia de red. Hoy en día esta distinción es difícil de hacer ya que la inteligencia de la red se ha distribuido más concienzudamente.

Se puede mejorar la disponibilidad de un equipo aplicando protección local. Muchas funciones comunes como la energía, alimentación, generación de reloj y matriz de trayectos, así como ciertas funciones de tributarios eléctricos se suelen proteger de esta forma. Los mecanismos detallados no están sujetos a normalización.

Cada componente electrónico elemental tiene una tasa de fallo (λ) asociada, a partir de la cual se deduce la disponibilidad de la placa utilizando la tasa de reparación (μ). Por otro lado, los componentes lógicos son hoy tan complejos que también hay que tener en cuenta la probabilidad de fallo lógico. La disponibilidad del equipo se determina a partir de estos datos.

La disponibilidad del equipo se puede mejorar con una buena práctica de diseño conocida a veces como protección "pasiva": la arquitectura del equipo se elige de

forma que la transmisión de un servicio no se vea afectada innecesariamente por un fallo de las funciones de control, por ejemplo.

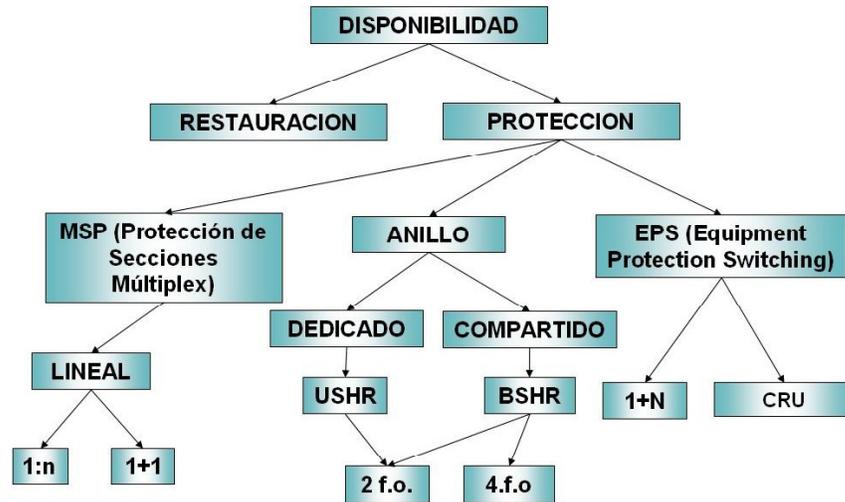


Figura 18. Mecanismos de Protección de Redes

3.2 PROTECCION DE REDES SDH

Para la protección de redes SDH se proporciona una serie de mecanismos normalizados. En los sub-capítulos siguientes se describirán todos estos mecanismos siguiendo el esquema de la Figura 18. Se comienza por analizar la Protección De Secciones Múltiplex (MSP) y el protocolo APS (Automatic Protection Switching). Luego se describe la protección a nivel de anillos y se dan ejemplos de arquitecturas, y por último hablaremos un poco sobre la protección de las unidades de tributarios y de reloj pertenecientes a los esquemas de protección EPS (Conmutación de Protección de Equipos).

La eficacia de todos los sistemas de protección se mejora naturalmente si los cables de trabajo y protección se enrutan de diferentes maneras, aunque esto no es frecuente en sistemas lineales. La diversidad de rutas se explota más eficazmente en las normas de anillos utilizando multiplexores de inserción y extracción. Esto sólo es realmente posible en un entorno SDH.

3.3 PROTECCIÓN DE SECCIONES MÚLTIPLEX (MSP)

Para realizar esta protección de la sección múltiplex, la MSOH dispone de los octetos K1 y K2, por medio de los cuales se tiene un canal para el envío del protocolo para realizar la protección de conmutación automática (APS).

La *Conmutación de Protección Automática* ó APS (Automatic Protection Switching) es la habilidad que tiene un sistema de transmisión para detectar una falla sobre una línea de trabajo y conmutarla a una línea de protección con el fin de recuperar el tráfico. Esta habilidad tiene un efecto positivo sobre la disponibilidad global del sistema. Solo la *sección de multiplexación* (MS) es protegida por este modo.

El mecanismo MSP es coordinado por los bytes K1 y K2 en la tara de sección de Múltiplex y es utilizado para enlaces punto a punto. Los bytes K1 y K2 son usados para coordinar la conmutación de protección entre el inicio y el fin de una sección.

La conmutación de protección se inicializa cuando ocurre una de las siguientes situaciones:

- Pérdida de la señal

- Degradación de la señal
- En respuesta a instrucciones solicitadas desde una terminal local o una red de mando remota.

El byte K1 (Figura 19) contiene las prioridades de conmutación (bits del 1 al 4) y el número del canal que realiza la petición de conmutación (bits del 5 al 8). El byte K2 contiene el número del canal que es puentado a la protección, el modo de protección (bit 5) y además, los bits del 6 al 8 contienen varias condiciones como MS-AIS (Seña de Indicación realarmas), MS-RDI (Indicación de Defecto Remoto) e indica la forma de conmutación (unidireccional ó bidireccional)¹⁶.

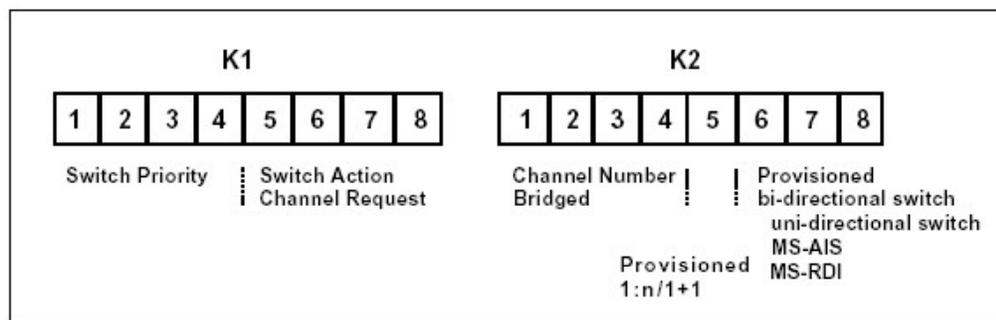


Figura 19. Funciones de los bytes K1 y K2. (Fuente: SDH Telecommunications Standard Primer)

La Protección de Conmutación Automática (APS) basándose en el protocolo MSP, utiliza dos modos: conmutación de protección **1+1** y conmutación de protección **1:N**.

¹⁶ SDH Telecommunications Standard Primer. [Artículo en Internet]. Pág.: 19
<http://www-t.zhwin.ch/it/ksy/Block11/Tektronix/2RX-11694-0.pdf>

3.3.1 Protección 1+1

En la conmutación de protección 1+1 hay una línea de protección por cada línea de trabajo (Figura 20).



Figura 20. Protección 1+1

En el origen de la sección (Mux1), la señal óptica es puenteada permanentemente (divide la señal en dos) y la envía simultáneamente por la línea de trabajo y la línea de protección, generando dos señales iguales tanto en la línea de trabajo como en la de protección.

En el destino de la sección (Mux2), ambas señales son monitoreadas a fin de encontrar fallas. El equipo receptor selecciona la mejor de las dos señales basándose en el criterio de iniciación de conmutación, en el cual se examina la calidad de la señal teniendo en cuenta parámetros como pérdida de la trama (LOF) dentro de la señal óptica o degradación de la señal (fallas causadas por sobrepasar un valor predefinido en la tasa de error BER).

Normalmente la conmutación de protección 1+1 es unidireccional, aunque si el equipo terminal de línea en ambos extremos soporta conmutación bidireccional, la unidireccional puede ser obviada.

La conmutación puede ser reversible (el flujo vuelve a la línea de trabajo tan pronto la falla haya sido corregida) o no-reversible (la línea de protección, funciona como línea de trabajo).

En esta arquitectura de protección toda la comunicación de extremo a extremo se realiza sobre el canal APS usando los bytes K1 y K2. En la conmutación bidireccional 1:1, la señalización de los K-byte indica al origen que una línea ha sido conmutada así que puede comenzar a recibir sobre esa línea¹⁷.

3.3.2 Protección 1: N

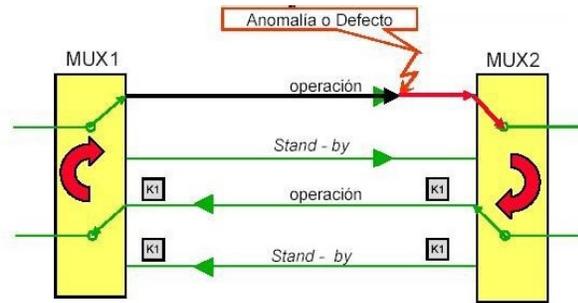
En la conmutación de protección 1:N hay una línea de protección para N líneas de trabajo (el rango es de 1 a 14). En esta arquitectura de protección toda la comunicación de extremo a extremo se realiza sobre el canal APS usando los bytes K1 y K2. Toda la conmutación es revertible. En la conmutación de protección 1:N, las señales ópticas son normalmente enviadas sobre la línea de trabajo, manteniendo la línea de protección libre en caso de que una línea de trabajo falle.

Como un ejemplo de protección¹⁸, veamos el funcionamiento del modo 1:1 en formato bidireccional. Supongamos que el destino (Mux2) detecta una falla sobre la línea de operación (Tx), enviando un mensaje en los bits 5 a 8 del byte K1 al

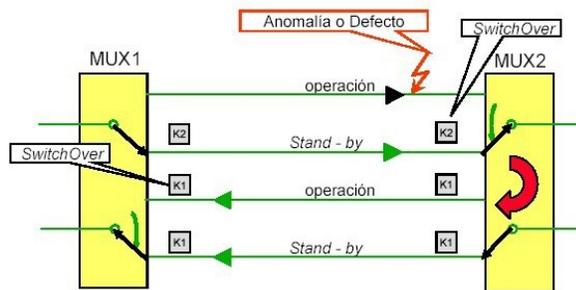
¹⁷ Ibid., Pág.: 19-20

¹⁸ PARRA GUARÍN, Marco Abel. "SDH Tipos de equipos y las funciones OAM&P. Edición: Marco Abel Parra Guarín. Bogotá, 1999. Pág. 135 -136.

origen (Mux2) sobre la línea de protección haciendo la petición de conmutación (Figura 21a).



a)



b)

Figura 21. Funcionamiento del mecanismo de protección bidireccional 1:1

El origen puede actuar directamente o si hay más de un problema, el origen decide a cual de ellos darle prioridad. Para tomar una decisión acerca de la línea de trabajo que presenta problema en el cual se va actuar; el origen realiza los siguientes pasos:

- Puentea la línea de trabajo a línea de protección en el origen.

- Retorna un mensaje sobre el byte K2 indicando el número del canal de tráfico sobre el canal de protección hacia el destino.
- Envía una petición de reversa hacia el destino en el byte K1 para iniciar la conmutación bidireccional.

Al recibir este mensaje el destino realiza los siguientes pasos:

- Conmuta la línea de protección a recibir.
- Puentea la línea de trabajo a la línea de protección para comenzar a retransmitir.

Ahora la transmisión es realizada sobre la nueva línea de trabajo (ver figura 21b).

3.4 PROTECCIÓN SDH BASADAS EN ARQUITECTURAS DE ANILLOS

Entre mayor sea el ancho de banda de las comunicaciones llevadas por la fibra óptica, mayor serán las ventajas en costo de las arquitecturas en anillo en comparación con las arquitecturas lineales. Un anillo es la más simple y efectiva forma de enlazar un número de elementos de red.

Varios mecanismos de protecciones están disponibles para estos tipos de arquitectura de red, algunos de los cuales están estandarizados en la Recomendación ITU-T G.841. Dos conceptos de arquitecturas de red han sido desarrolladas basadas en configuraciones de anillo: BSHR (Bidirectional Self-

Healing Ring, Anillo de Restauración Automática Bidireccional) y USHR (Unidirectional Self-Healing Ring, Anillo de Restauración Automática Unidireccional). Ambas arquitecturas proveen la protección por conmutación automática sin la intervención del sistema de gestión de red.

Para cada tipo de anillos, dos esquemas posibles de control de SDH pueden ser utilizados: *conmutación de protección de línea* y *conmutación protección de trayectoria*¹⁹. La *conmutación de protección de línea* usa la información del encabezado de línea y la *conmutación de trayecto* utiliza información pertinente al encabezado de trayecto. Actualmente, solamente los anillos *unidireccionales con conmutación de protección de trayectoria* (UPSR, Unidirectional Path Switch Ring) y *anillos bidireccionales con conmutación de protección de línea* (BLSR, Bidirectional Line Switch Ring) están comercialmente disponibles. Este tipo de protección ocurre a una velocidad tal, que el servicio no es afectado.

3.4.1 Anillo de Restauración Automática Unidireccional (USHR)

Todo el tráfico dentro de un anillo USHR provee protección dedicada (1+1) para cada señal tributaria²⁰, a nivel de trayecto. En el lado de transmisión, la señal es transmitida en ambos sentidos del anillo, es decir, en dirección este y oeste hacia su destino determinado. En el lado receptor, un mecanismo selector actúa para

¹⁹ MILI, Demetris. Self-Healing Ring Architectures for SONET Network Applications. [Artículo en Internet]. http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/dm9/article2.html

²⁰ Muchos autores llaman también a este tipo de arquitectura DPRING (*Dedicated Protection Ring*, Anillo de Protección Dedicada).

seleccionar la señal que se presenta con un mejor nivel de calidad y/o seleccionar la trayectoria de protección en caso de que ocurra una falla. En este tipo de anillo, no existe intercambio de señalización entre nodos para operar la protección.

La capacidad de tráfico en todo el anillo está limitada a la capacidad del módulo de transporte utilizado (STM-N). Este tipo de arquitectura, debido a su modo de operación, no es adecuada para redes de transporte de alta capacidad, donde la capacidad de tráfico es un requisito fundamental.

Encontramos su mayor aplicación en las redes de acceso de STM-1, donde normalmente el tráfico está concentrado en una de las cabeceras del anillo. La capacidad total de tráfico del anillo es igual a cualquiera de los nodos del anillo²¹.

La Figura 22 muestra el principio básico APS para un anillo unidireccional. Asumamos que hay una interrupción entre los elementos A y B. La dirección “y” no es afectada por esta falla. Una trayectoria alterna debe ser encontrada por la dirección “x”; por lo tanto, la conexión conmuta hacia el trayecto alterno encontrado entre los elementos de red A y B. Los otros elementos de red (C y D) conmutan a través del trayecto de protección (back-up). Este proceso de conmutación se puede referir a una conmutación de línea²². Un método más simple es usar el llamado “anillo conmutado de trayecto”. El tráfico es transmitido simultáneamente sobre la línea de trabajo y la línea de protección. Si hay una

²¹ ULATE ARBULOVA, Marianne. Protección de Redes SDH. [Artículo en Internet]. <http://infoprogra.galeon.com/trabajsdh.pdf>

²² SCHULTZ, Stephan. SDH Pocket Guide. Vol. 1. Pág: 41-42. [Artículo en Internet]. <http://magda.elibel.tm.fr/refs/telecom/sdh.pdf>

interrupción, el receptor (en este caso A) conmuta a la línea de protección e inmediatamente se reanuda la conexión.

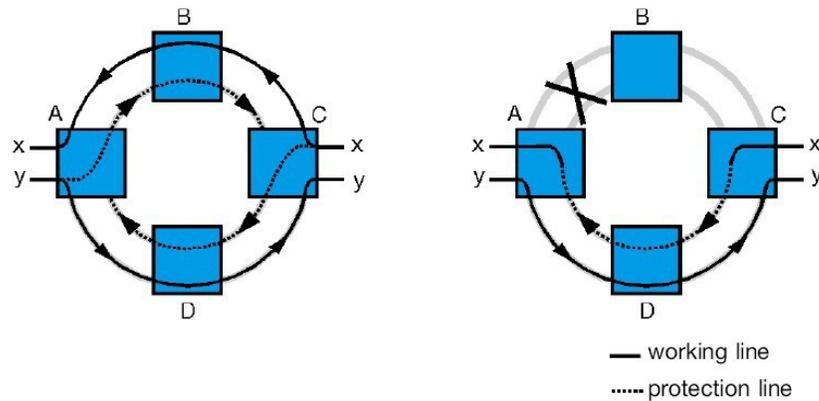


Figura 22. Anillo unidireccional conmutado por trayectoria de dos fibras.
(Fuente: SDH Pocket Guide, Wavetek Wandel Goltermann)

Este mecanismo requiere dos circuitos transmisores y dos circuitos receptores para cada equipo multiplexor ADM y Regeneradores.

En esta arquitectura, el anillo puede estar implementado con dos equipos (multiplexores de extracción - ADM) y elementos de anillo (regeneradores).

3.4.2 Anillo De Restauración Automática Bidireccional (BSHR)

En este tipo de arquitectura la protección contra fallas de enlace o de nodos ocurre a nivel de sección múltiplex y no por trayecto como hemos visto anteriormente. La capacidad de tráfico de cada sección de múltiples está dividida entre a capacidad de trabajo y capacidad de protección. De esta manera toda la capacidad del tráfico

está compartida²³ con la capacidad de protección en cada una de las secciones múltiplex.

En caso de una falla, los conmutadores de protección (comandados por los bytes K1 y K2) en los nodos afectados van a operar en ambos extremos del enlace múltiplex donde se localiza la falla. Este funcionamiento es para enrutar el tráfico afectado por la correspondiente capacidad de protección.

La capacidad de tráfico en todo el anillo, en un caso aproximado, puede ser expresada por $n \times m$, donde n es el número de nodos en el anillo y m es el número máximo de STM-1s posibles de transportar. La capacidad en cuestión puede variar, dependiendo del tipo de mecanismo de protección utilizado en 2 o 4 fibras²⁴.

Este tipo de anillos es altamente recomendado para aplicaciones en redes de alta capacidad de tráfico. Esta arquitectura optimiza las fibras, además de permitir la transmisión de tráfico extra de baja prioridad sobre los canales de protección.

3.5 ARQUITECTURAS DE ANILLOS BASADAS EN USHR

Las siguientes configuraciones se basan en el principio de funcionamiento de los USHR's.

²³ Muchos autores llaman también a este tipo de arquitectura MS-SPRING (*Multiplex Section Share Protection Ring*, Protección Compartida de Secciones Múltiplex).

²⁴ Se profundizarán estos dos casos en "Arquitecturas de Anillos Basadas en BSHR" (Apartado 3.6).

3.5.1 SNCP (SubNetwork Connection Protection)

SNCP es usado en anillos donde han sido instalados varios equipos. Puede ser usado también en redes malladas y sistemas lineales.

Dos modos de operación pueden ser seleccionados para un VC SNCP sencillo:

- Reversible
- No Reversible

En la operación reversible el “Wait Time to Restore (Tiempo de Restablecimiento)” es fijado en 5 minutos.

Como ejemplo se muestra la Figura 23 donde varios equipos (numerados de 1 a 5), se encuentran conectados en anillo en bucle cerrado. Cada equipo en un nodo es bidireccionalmente conectado (lados este y oeste). Una de las dos direcciones representa el trayecto principal (sentido horario). La dirección opuesta será utilizada por una segunda fibra la cual transportará el tráfico de protección (sentido antihorario).

La protección automática interviene apenas se detecta un fallo en el trayecto. Cada nodo de transmisión de tributario está permanentemente puenteado en la dirección del tráfico principal (sentido horario) y en la dirección del tráfico de protección (sentido antihorario). La señal transmitida Tx llega a su destino a través de dos diferentes trayectorias de las cuales la mejor es elegida por el nodo

receptor. En la Figura 23 se ilustra la conexión entre dos tributarios (T1 y T2) y nodos de entrada-salida pertinentes asociados con los pass-throughs (canales de paso). Por ejemplo, el T1 es transmitido por el equipo 2 en ambas direcciones, pero será extraído del equipo 5 por la conexión principal (sentido horario). Un fallo o degrade de la señal en la trayectoria principal hace que se conmute a la línea de protección. Se puede deducir de lo anterior que el término unidireccional se refiere no solamente a la propagación, sino a la conmutación del anillo también. Cuando el extremo de recepción conmuta, no se envía ninguna información al lado correspondiente de Tx para activar la operación de la conmutación (Conmutación Unidireccional).

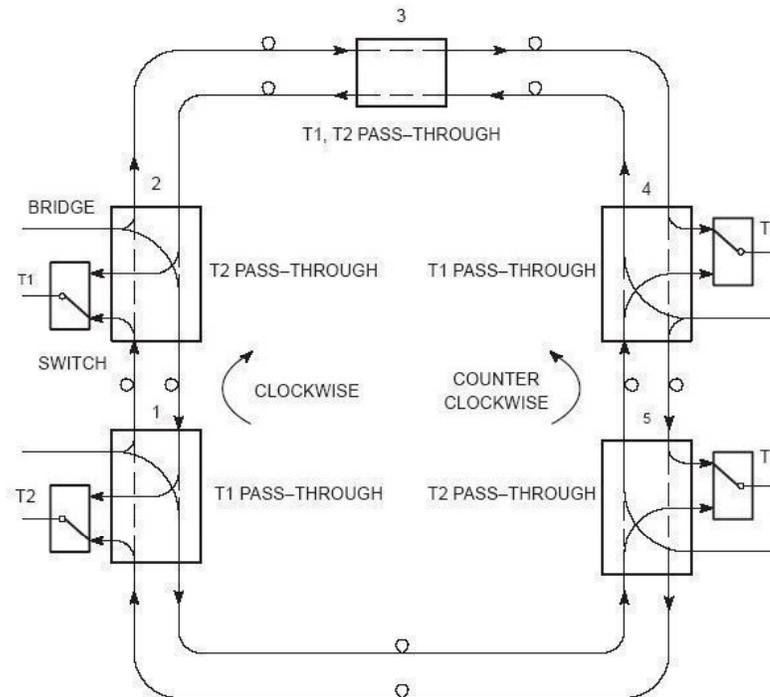


Figura 23. Red de anillo configurada con SNCP. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

Para manejar la conmutación, la arquitectura SNCP utiliza los datos inherentes a la trayectoria y no a los datos línea. La conmutación es activada por las operaciones defectuosas que ocurren en los niveles VC4. Cuando la trayectoria no está disponible, una señal de AIS se transmite en la misma trayectoria para activar la protección. De este modo SNCP puede proteger las trayectorias después de roturas del cable o de fallos a lo largo de la fibra y de los nodos. La rotura del cable se refiere a todas las fibras que lo contiene por lo tanto pone el tráfico “fuera de servicio” en ambas direcciones, mientras que un fallo se refiere a solamente una fibra.

A cada unidad de tributario se proporciona un circuito de conmutación de trayectoria (puente + interruptor)²⁵. Su habilitación depende de la configuración de equipo.

Con SNCP cada trayectoria de trabajo tiene una trayectoria de protección dedicada.

3.5.2 Drop & Continue

La arquitectura Drop & Continue se ha implementado en la red para mejorar la disponibilidad del tráfico. Drop & Continue es una manera de proteger una trayectoria que cruza un número de subredes, p.ej., anillos. Las subredes se

²⁵ Alcatel 1664SM Technical Handbook Rel. 2.1. Pág.: 108-109. Disponible en: http://www.et.fnt.hvu.nl/docenten/lab/project_telematica_DT/2000_najaar/SDH/Bijlage/1664%20Tech_%20Manual.pdf

deben conectar por lo menos con dos nodos (de este modo se realizan dos conexiones independientes). El equipo²⁶ se configura como Drop & Continue en cada nodo de la interconexión. La arquitectura que resulta ofrece protección contra fallos múltiples (distribuidos uniformemente uno por subred) tolerados sin la pérdida del tráfico (fallo del nodo o solo cable cortado).

Las características de Drop & Continue mejoran la disponibilidad del tráfico con respecto al sencillo “extremo a extremo SNCP”. Entre más subredes estén conectadas, más se incrementa la disponibilidad.

Drop & Continue realiza las siguientes acciones simultáneamente en un mismo nodo:

- Pass-through unidireccional
- Extracción protegida (protected drop)
- Inserción en una dirección

Las configuraciones realizables utilizando la arquitectura Drop & Continue son:

- D/C–W INS–W
- D/C–E INS–W
- D/C–E INS–E
- D/C–W INS–E

²⁶ Ibid. Pág.: 110-113

Donde D/C significa Drop & Continue, la letra posterior (W=West, E=East) indica el lado de extracción (drop) protegido (p.ej., W significa el lado principal oeste, y el lado de protección está en el este). Las expresiones INS-E o INS-W indican el lado de inserción.

El pass-through Unidireccional está siempre en la dirección opuesta al lado de inserción (p.ej., cuando está configurado INS-E el pass-through es de este a oeste).

La Figura 24 muestra la configuración D/C–W INS–W.

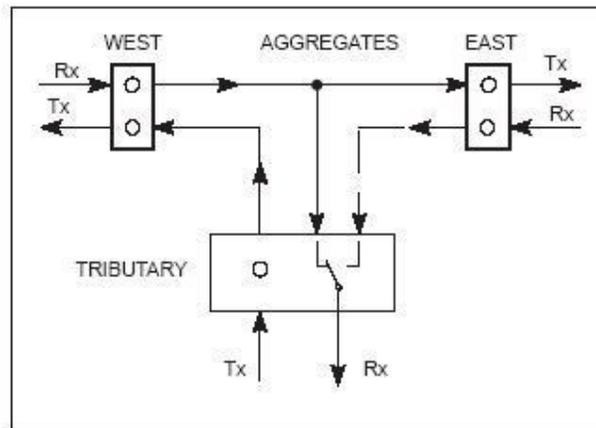


Figura 24. Drop & Continue D/C W INS W. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

Una configuración Drop &Continue con dos anillos conectados (con conexión dual) se muestra en la Figura 25. Los nodos 3, 4, 6 y 10 se encuentran configurados como Drop & Continue. La protección de SNCP se permite a través del equipo. En condiciones normales, el tráfico Unidireccional de 1 hacia 8 se ha

supuesto $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$. Después de un fallo en el 1^{er} anillo entre los nodos 2 y 3 (Figura 26, pág. 51), el camino a seguir por la ruta de enlace es: $1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$. El pass-through se utiliza entre los nodos 4 y 3, y la conmutación se realiza en el nodo 3. Después de un segundo fallo en el 2do anillo entre los nodos 6 y 7 (Figura 27, pág. 51) el camino a seguir por la ruta de enlace es: $1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 8$. Opera el conmutador que está en el nodo 8 y el pass-through anterior entre los nodos 4 y 3 ya no es utilizado.

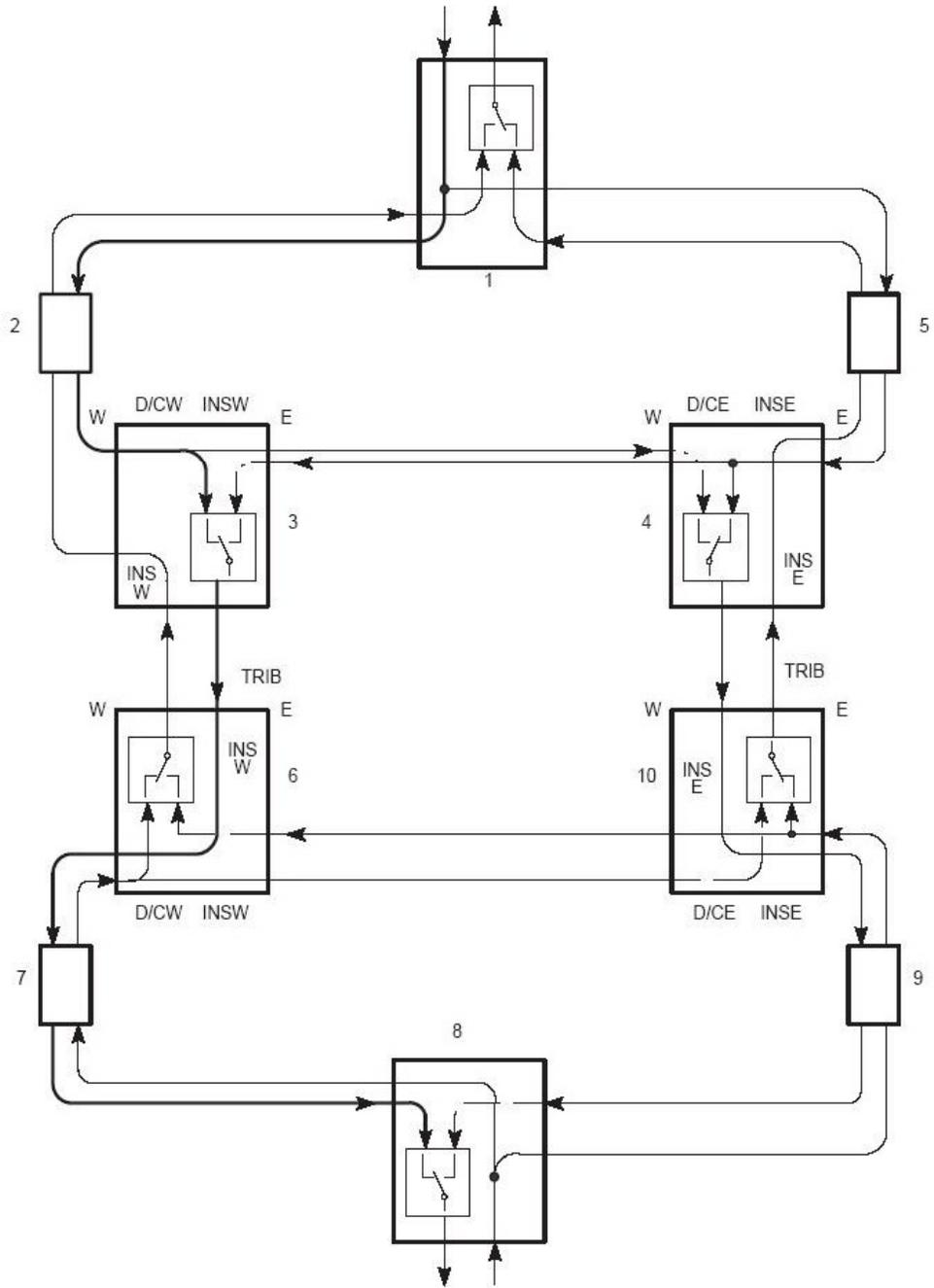


Figura 25. Drop & Continue. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

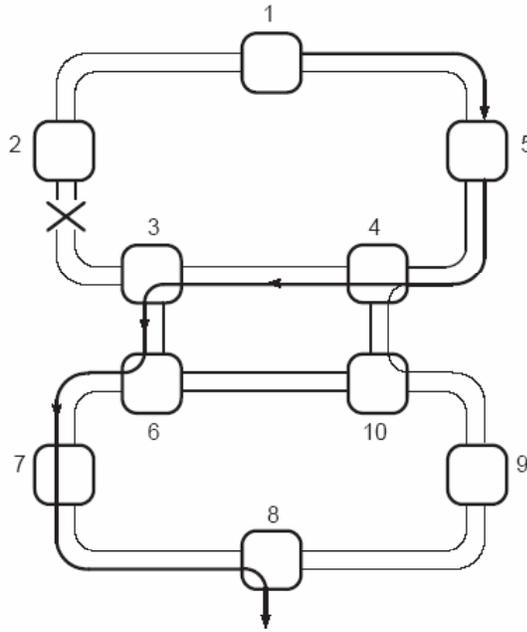


Figura 26. Drop & Continue – 1ra falla (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

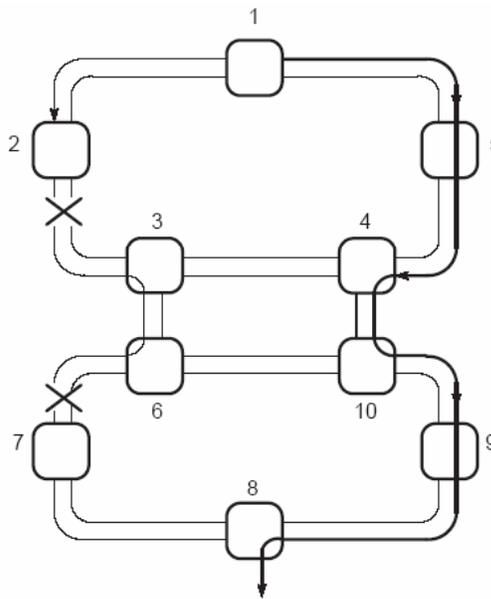


Figura 27. Drop & Continue – 2da falla (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.6 ARQUITECTURAS DE ANILLOS BASADAS EN BSHR

3.6.1 Mecanismo de protección bidireccional de 2 fibras (2F MS-SPRING)

Esta protección es utilizada en topologías de red en anillo las cuales soportan fallos utilizando únicamente la conmutación bidireccional (usando los bytes K1-K2 con algoritmo apropiado)²⁷. Su modo operación es reversible.

2F MS-SPRING consiste en un sistema de 2 a 16 Elementos de Red²⁸ (NE's, Network Elements), cada uno equipado con un puerto agregado bidireccional doble (Tx y Rx). Los NE's están conectado en anillo por medio de dos fibras ópticas, una en sentido horario y otra en sentido antihorario. La protección MS-SPRING es una alternativa con respecto a SNCP. Mientras que MS-SPRING permite la conexión simultánea en dirección horaria y antihoraria para un mismo AU4 que se puede insertar y extraer en cada tramo, la conexión SNCP emplea el mismo AU4 en ambos lados, pero utilizando la totalidad del enlace de forma Unidireccional.

El ancho de banda para 2F MS-SPRING se divide en dos mitades de igual capacidad, donde a cada mitad se le llama respectivamente "canal de trabajo"

²⁷ Ibid. Pág.; 114

²⁸ Esto es para el Alcatel 1664SM; sin embargo, hay equipos que manejan más de 16 nodos (aún sin normalizar), pero obviamente aumenta el tiempo de restauración de 50ms (16 nodos o menos) a 100 ms (más de 16 nodos).

(AU4 # 1 a AU4 # 8) y “canal de protección” (AU4#9 a AU4 # 16). El canal de trabajo es utilizado para llevar tráfico de alta prioridad, mientras que el canal de protección transporta tráfico de baja prioridad. Véase figura 28.

MS-SPRING comienza como consecuencia de las siguientes alarmas de Sección:

- LOS, LOF, MS AIS, EXBER (B2), SEÑAL DEGRADADA (B2)

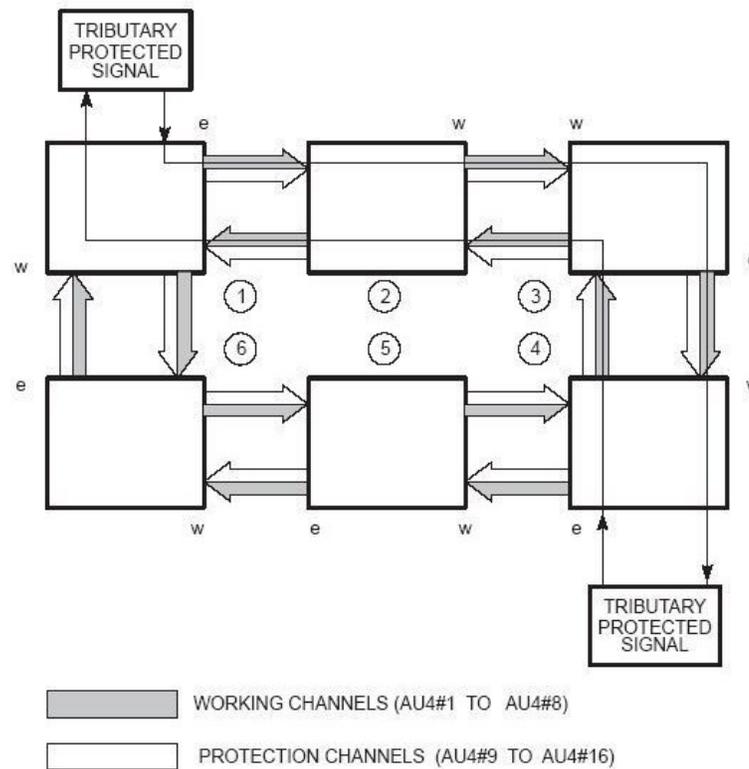


Figura 28. Conexión 2F MS SPRING (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

El siguiente esquema (Figura 29) muestra como se realiza una conexión 2F MS-SPRING en cuatro nodos:

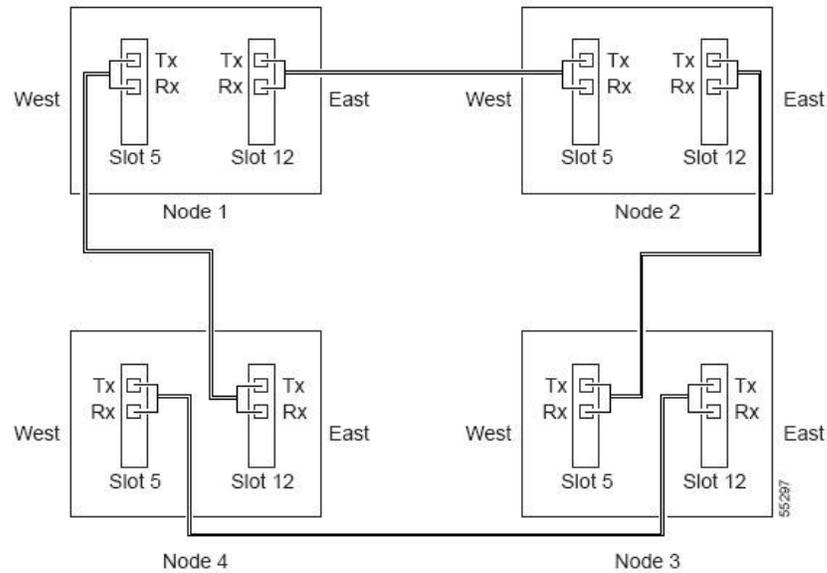


Figura 29. Conexión 2F MS-SPRING con cuatro nodos.
(Fuente: Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual)

3.6.1.1 APS en 2 Fiber MS-SPRING

En caso de rotura de fibra, el APS para 2F MS-SPRING²⁹ utiliza una secuencia sincronizada de operaciones de *punteo* y *conmutación* que modifican las conexiones internas de los dos NE's adyacentes al fallo y desplazan los canales de trabajo AU4's (alta prioridad) en los canales de protección AU4's (prioridad baja).

²⁹ Alcatel 1664SM Technical Handbook Rel. 2.1. Pág.: 115-117. Disponible en: http://www.et.fnt.hvu.nl/docenten/lab/project_teleatica_DT/2000_najaar/SDH/Bijlage/1664%20Tech_%20Manual.pdf

Las funciones de *punteo* y *conmutación* le interesan solamente a los NE's adyacentes al fallo, mientras que para el resto del NE's la configuración final es un pass-through (canal de paso) de toda la protección AU4's (prioridad baja). Las figuras 30 y 31 destacan cómo se modifican las conexiones como consecuencia de las funciones de *punteo* y *conmutación*:

- La operación del *punteo* en el lado este (East side), como indica la Figura 30, tiene el efecto de enrutar el tráfico saliente de "alta prioridad" en dirección oeste (West) y lo enruta también por el canal de protección saliente en dirección este (East). El puente añade una conexión en el sentido opuesto y en el respectivo AU de la protección.
- Cuando una función de *Conmutación* (Figura 31) está trabajando en el lado oeste (West side), todas las conexiones que tienen como fuente un AU4 que pertenece al canal de trabajo del lado este (East side) es substituido por las conexiones que tienen como fuente el tráfico de protección entrante desde el lado oeste (West side), manteniendo el destino original de la señal. La función de *conmutación* substituye el flujo entrante por uno de protección, que viene desde el lado opuesto.

La Figura 32 (Pág. 57) representa el efecto final de estos pasos sincronizados de operaciones. Eso se realiza usando los octetos K1 y K2 por medio de los cuales el tramo fallado se substituye por la capacidad del tráfico de la protección del tramo no afectado por la fallo.

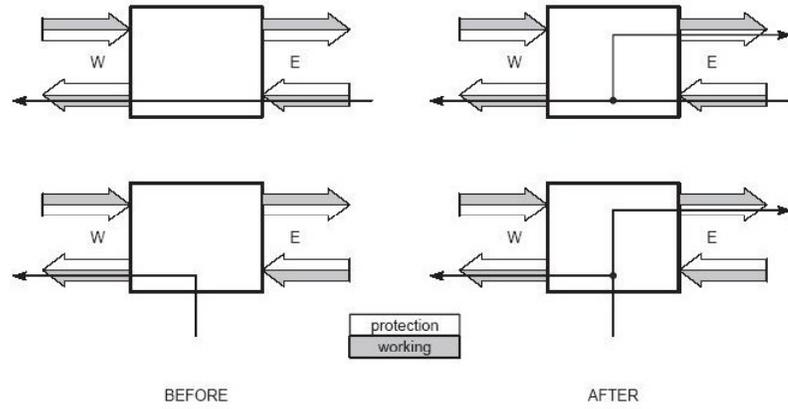


Figura 30. Operación de un puente lado este. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

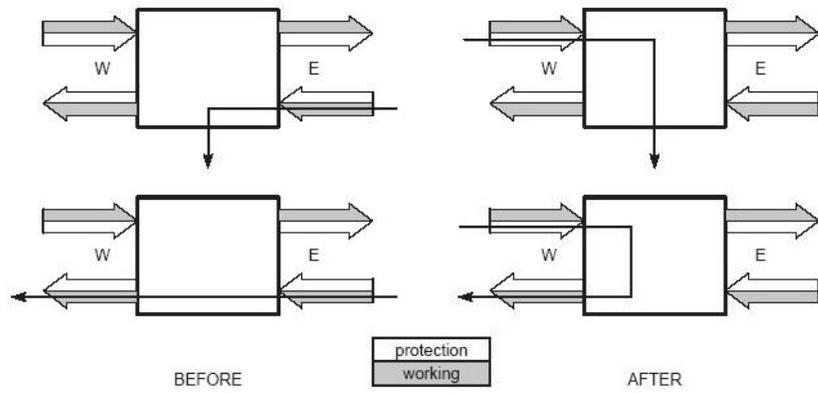


Figura 31. Operación de un conmutador lado oeste. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

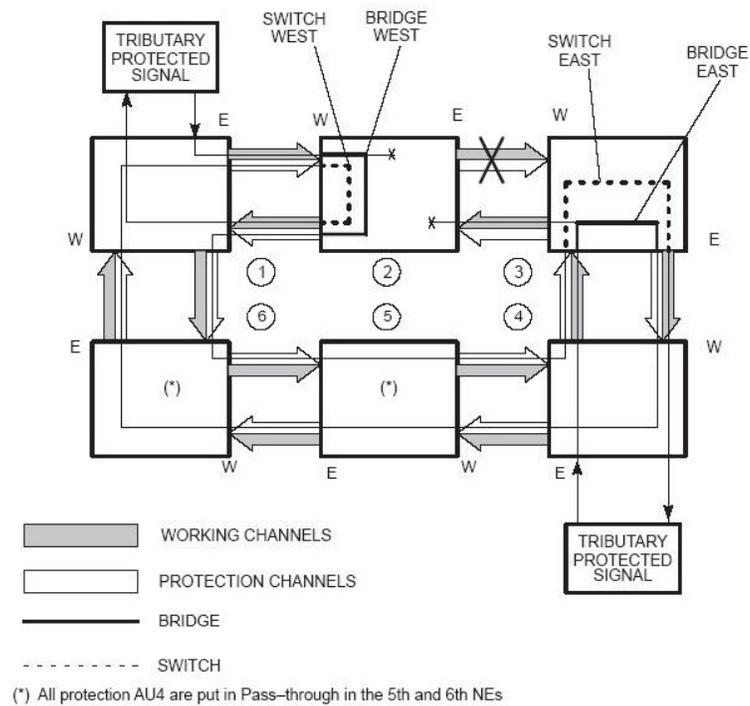


Figura 32. Operaciones de recuperación en rotura de línea. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

Un ejemplo de 2F MS-SPRING³⁰ está en la figura 33.

En el ejemplo un anillo de cuatro nodos se protege con 2F MS-SPRING:

- AU4-1 lleva el tráfico de cada tramo: C-B, B-A, A-D, D-C
- AU4-2 lleva el tráfico D-B (el pass-through en C)
- AU4-9 protege AU4-1
- AU4-10 protege AU4-2

³⁰ Ibid. Pág.: 118-119

Después de un fallo en la sección C-B, las siguientes acciones se toman en los nodos de C y de B:

- Nodo B: Los accesos a los tributarios 1 y 2, previamente extraídos e insertados en AU4-1 y AU4-2 en el lado oeste (West side), se conmutan respectivamente en AU4-9 y AU4-10 lado este (East side). De esta manera, por medio de los nodos A y D, se llega al nodo C.
- Nodo C: El acceso al tributario 1, extraído e insertado en AU4-1 lado este (East side), es conmutado a AU4-9 lado oeste (West side). De esta manera, por medio de los nodos D y A, se llega al nodo B. Rx AU4-2 lado oeste (West side), previamente en pass-through con Tx AU4-2 lado este (East side), conmuta a Tx AU4-10 lado oeste (West side). De esta manera, por medio de los nodos A y D, se llega al nodo B (la señal transmitió de D a B). Rx AU4-2 no recibirá más por el lado este (East side). Así pues, Tx AU4-2 lado oeste (West side) conmuta al Rx AU4-10 lado oeste (West side). De esta manera, la señal transmitida por el nodo B fluye en los nodos A-D-C y es aquí donde se cierra el bucle alcanzando otra vez el nodo D.
- Los nodos A y D no tienen ninguna conmutación.

Podemos deducir del ejemplo que es posible reutilizar el ancho de banda para algunos patrones de tráfico (AU4-9 protege 4 conexiones en AU4-1) teniendo la misma protección para varias conexiones (protección compartida)

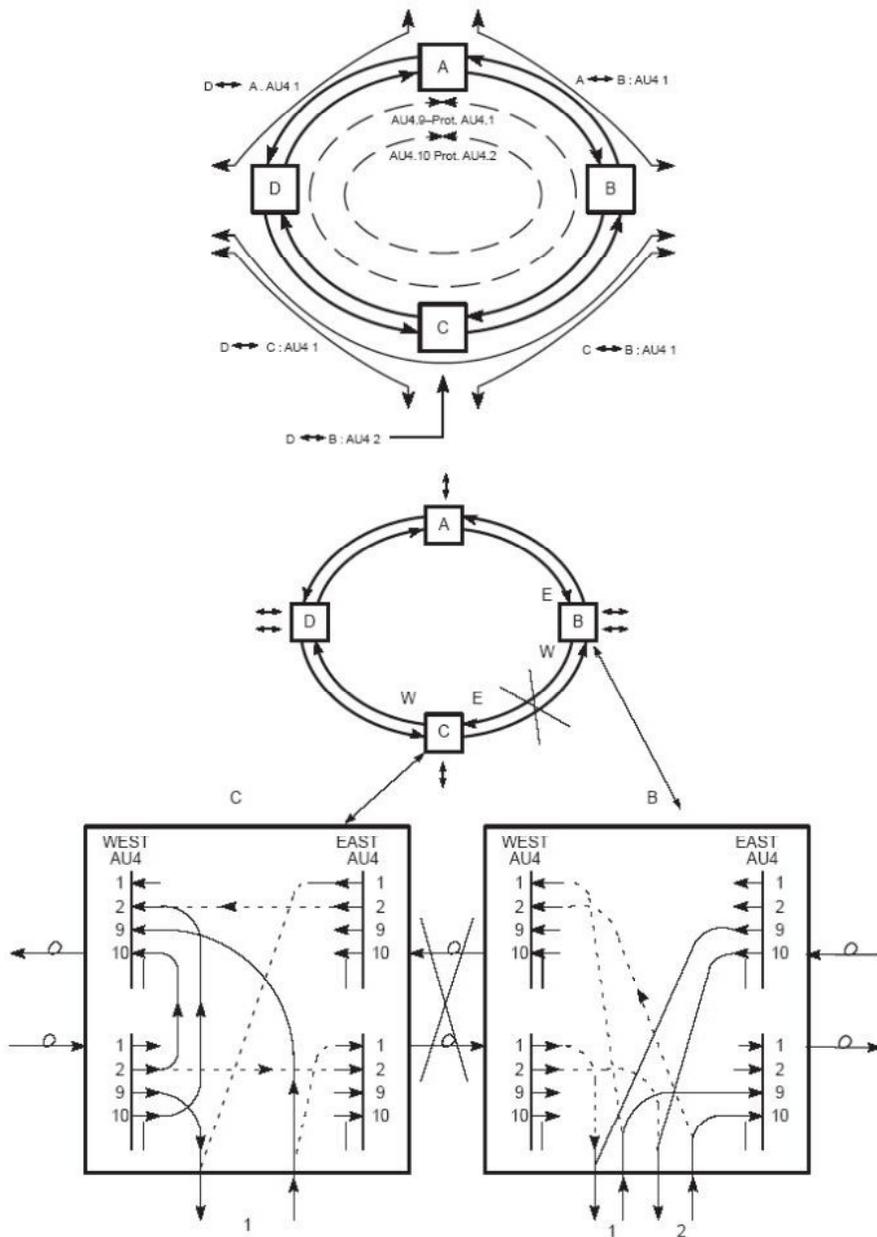


Figura 33. Ejemplo de operación de 2F MS-SPRING.
 (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.6.1.2 Función de silenciamiento (Squelching Function)

Se activa la función de SQUELCHING³¹ cuando un nodo que lleva los tributarios Drop/Insert, permanece aislado por una doble falla.

En este caso para evitar la desconexión en el AU4 implicado en la protección de MS-SPRING, una señal del AIS será insertada con baja prioridad transmitida desde los nodos adyacentes hasta el nodo aislado. Véase figura 34.

Inicialmente antes de que el doble fallo aislara el nodo 2, las conexiones entre Trib3 y Trib1 y entre Trib2 y Trib4 estaban activas en AU4 #1 en el ejemplo. Después del segundo fallo y sin la función Squelch, MS-SPRING activaría las funciones de *punte* y de *conmutador* en los nodos adyacentes al nodo 2 y realizaría una desconexión entre Trib3 y Trib4 por medio de la protección AU4#9 en el ejemplo. La función Squelching permite que los nodos adyacentes al nodo 2 aislado envíen el AIS en baja prioridad AU4#9 evitando de esta manera la desconexión entre Trib3 y Trib4 en este caso. Después de que se haya corregido la falla, una secuencia similar pero inversa de operaciones en los NE's adyacentes al tramo recuperado será activada. El procedimiento inverso puede comenzar después de configurar el WTR (Wait Time To Restore, *Tiempo de Restablecimiento*), (5 sec., 5 min., 10 min., 15 min.).

³¹ Ibid. Pág.: 120

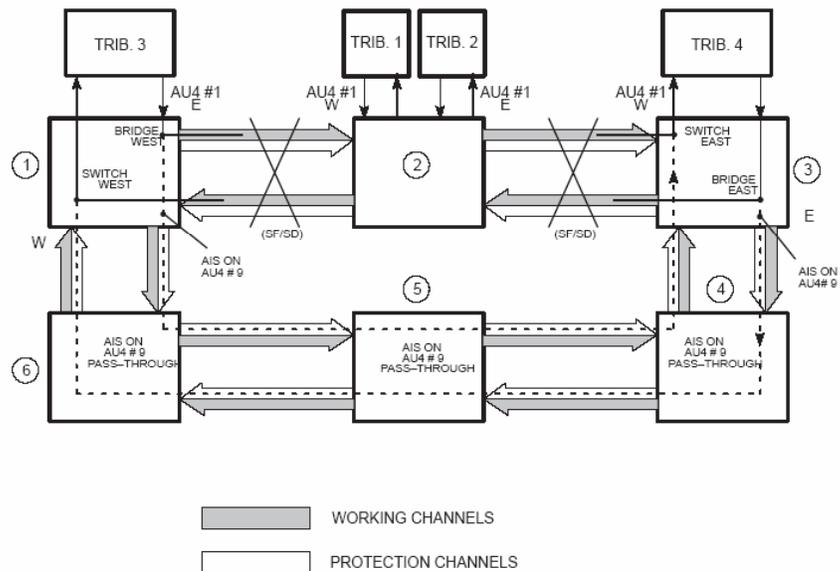


Figura 34. Silenciamiento sobre un nodo aislado. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.6.1.3 Interconexión 2F MS-SPRING

Cuando 2f MS-SPRING es interconectado con otro anillo (SNCP O MS-SPRING), la interconexión de los dos es realizada conectando dos nodos por anillo con conexiones HVC (High Virtual Container)³², según lo demostrado en la Figura 35 (Pág 63).

Cada VC4 que tiene que cruzar la frontera del anillo (solamente interconexiones del anillo del nivel de HVC se considera aquí) se debe hacer salir por dos nodos, uno de los cuales, el nodo primario del servicio (el PSN) realiza un Drop &

³² Ibid. Pág.: 121

Continúe al nodo secundario del servicio (SSN). En la dirección opuesta, el SSN inserta una copia del VC4 en el anillo y el PSN selecciona por medios de la función primaria del selector del servicio de nodo, entre el VC4 que viene del SSN y el VC4 el cual se puede localmente insertar por medio de un tributario STM-1. La selección se hace en base a AIS de trayecto (AU-AIS).

La conexión principal es a través del tributario STM-1

El mecanismo de protección trabaja en la hipótesis que el otro anillo selecciona una de las dos versiones del VC4 entrante y transmite dos copias idénticas del VC4 hacia el PSN y el SSN (esto es garantizado si el otro anillo es un MS-SPRING o un anillo de SNCP). Observe que el PSN y los SSN no necesitan ser adyacentes y no necesitan ser igual para todos los VC4 que cruzan la frontera del anillo; es decir, cada travesía VC4 tiene dos nodos asociados que activan el PSN y SSN.

En las aplicaciones de configuración de la conexión se nombra esta función: El IC W (E) de D/C que significa Drop & Continue, inserta la conexión (protegida). La letra (W=West, E=East) indica el lado de la inserción de la secuencia de datos AU4 que viene de tributario o de línea.

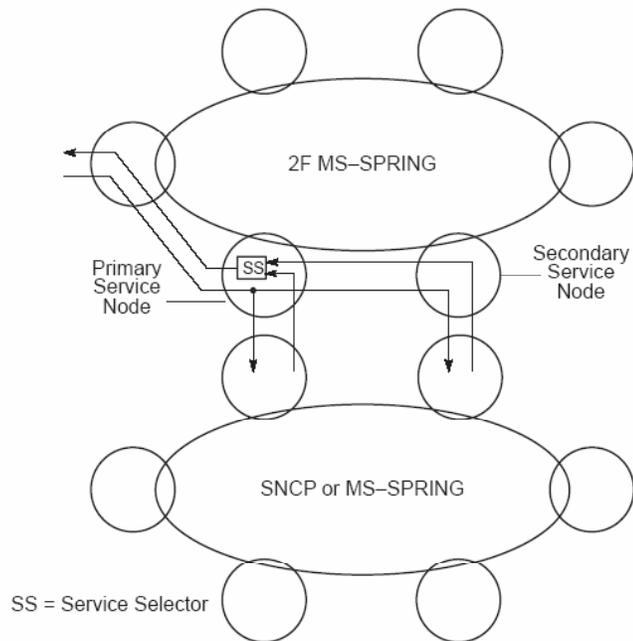


Figura 35. MS SPRING Drop and Continue. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.6.2 Mecanismo de protección bidireccional de 4 fibras (4F MS-SPRING)

El mecanismo MS-SPRING de 4 fibras dobla el ancho de banda del MS-SPRING de 2 fibras. Debido a que permite la conmutación de sección así como conmutación por tramo, este mecanismo incrementa la fiabilidad y flexibilidad de la protección de tráfico. En este mecanismo, dos fibras están asignadas para tráfico y dos más para protección como se muestra en la Figura 36. Para implementar MS-SPRING de 4 fibras es necesario instalar 4 tarjetas STM-16 o 4 tarjetas STM-64 en cada nodo MS-SPRING.

Este mecanismo posee protección de sección (span) y de anillo³³.

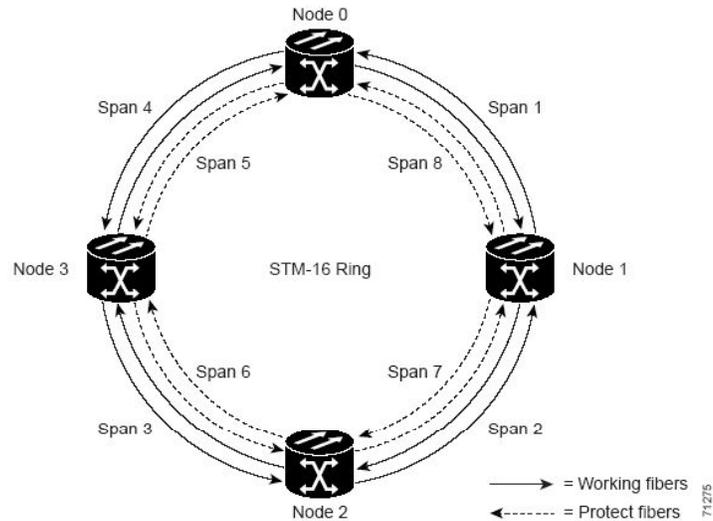


Figura 36. 4F MS SPRING. (Fuente: Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual)

La Figura 37 muestra como se realiza una conexión 4F MS-SPRING con cuatro nodos.

La conmutación de sección ocurre cuando un tramo falla (Figura 38). El tráfico se conmuta a la línea de protección entre los nodos (nodos 0 y 1 en el ejemplo de la Figura 38) y luego retorna a la fibra de trabajo que no falló. Pueden ocurrir múltiples conmutaciones de secciones a la vez.

³³ Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual, R4.6. Pág: 5 - 8. Disponible en: <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/ong/15454sdh/454sdh46/r46rfrnc/e46etopl.pdf>

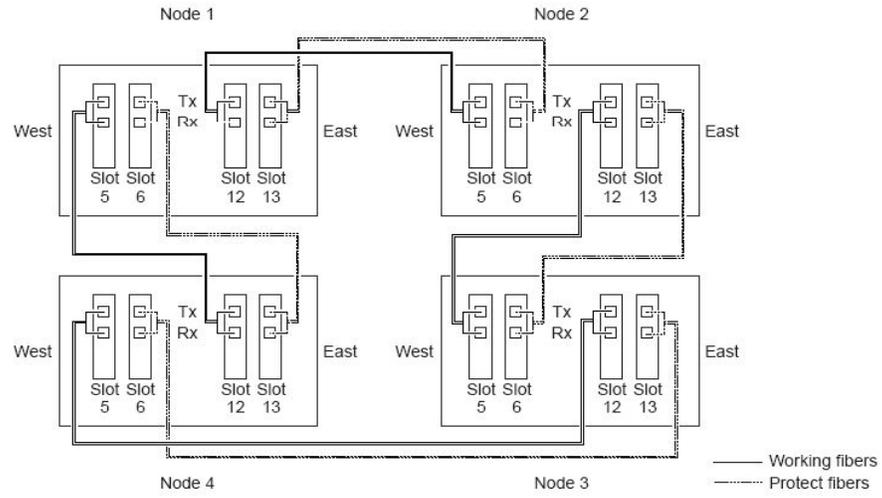


Figura 37. Conexión 4F MS-SPRING con cuatro nodos.
(Fuente: Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual)

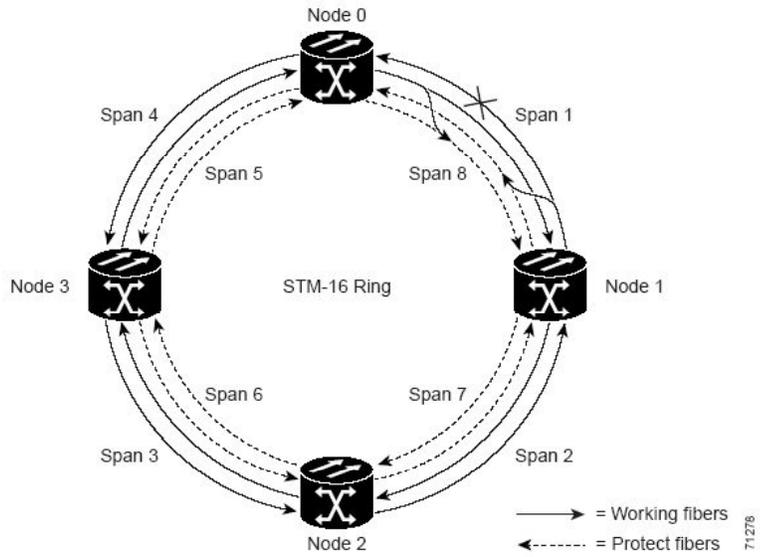


Figura 38. Conmutación de tramo. (Fuente: Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual)

La conmutación de anillo ocurre cuando la conmutación de sección no puede recuperar el tráfico (Figura 39), esto es cuando se pierden el canal de trabajo y de protección en la misma sección. En la conmutación de anillo el tráfico es enrutado a las fibras de protección a lo largo de todo el anillo.

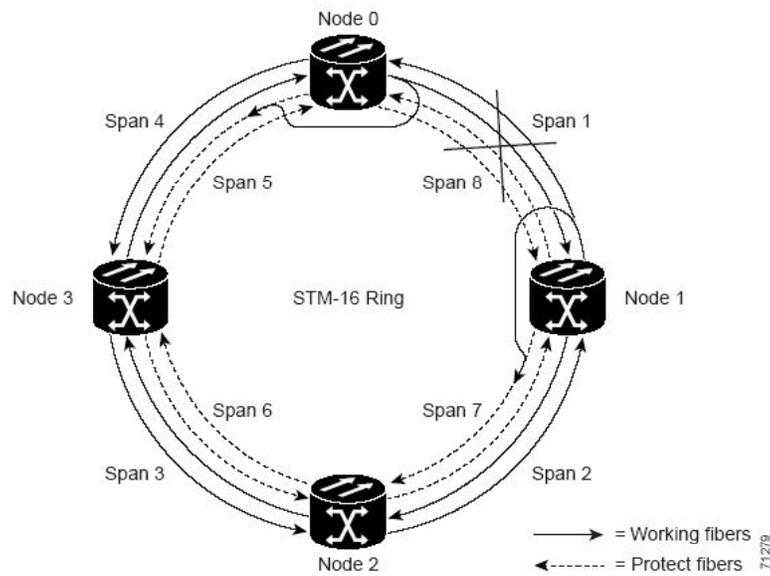


Figura 39. 4F Conmutación de anillo. (Fuente: Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual)

3.6.3 Ancho de banda de MS-SPRING

Un nodo MS-SPRING puede cerrar el tráfico que recibe del otro lado del anillo. Por lo tanto MS-SPRING está hecho para aplicaciones de tráfico nodo a nodo tales como redes entre oficinas y redes de acceso.

MS-SPRING comparte equitativamente el ancho de banda entre el tráfico de trabajo y el de protección. La mitad del ancho de banda de carga útil esta reservado para protección en cada dirección, haciendo la comunicación de media y completa capacidad bajo operación normal.

Permite que el ancho de banda pueda ser reutilizado alrededor del anillo y pueda llevar más tráfico que una red con tráfico que fluye a través de un concentrador central.

Puede llevar mas trafico que un anillo SNCP operando a la misma velocidad de un STM-N. Las tablas 4 y 5 muestran la capacidad de ancho de banda bidireccional de un MS-SPRING. La capacidad es la velocidad del STM-N dividida entre 2, multiplicada por el número de nodos en el anillo, menos el numero de circuitos pass-through VC-4³⁴.

Tabla 4. Capacidad 2F MS SPRING

STM Rate	Working Bandwith	Protection Bandwith	Ring Capacity
STM-4	VC4 1 – 2	VC4 3 – 4	2 x N – PT
STM-16	VC4 1 – 8	VC4 9 -16	8 x N – PT
STM-64	VC4 1 – 32	VC4 33 – 64	32 x – PT

³⁴ Ibid. Pág: 8-10.

Tabla 5. Capacidad 4F MS SPRING

STM Rate	Working Bandwith	Protection Bandwith	Ring Capacity
STM-16	VC4 1 – 16 (fibra 1)	VC4 1 -16 (fibra 2)	16 x N – PT
STM-64	VC4 1 – 64 (fibra 1)	VC4 1 – 64 (fibra 2)	64 x N – PT

Donde N es el número de nodos configurados con MS-Spring y PT es el número de circuitos VC4 de nodos pass-through en el anillo (la capacidad puede variar dependiendo de la forma del tráfico).

El siguiente gráfico (Figura 40) compara la capacidad de tráfico entre anillos unidireccionales y bidireccionales de 2 y 4 fibras para un sistema de alta capacidad STM-16.

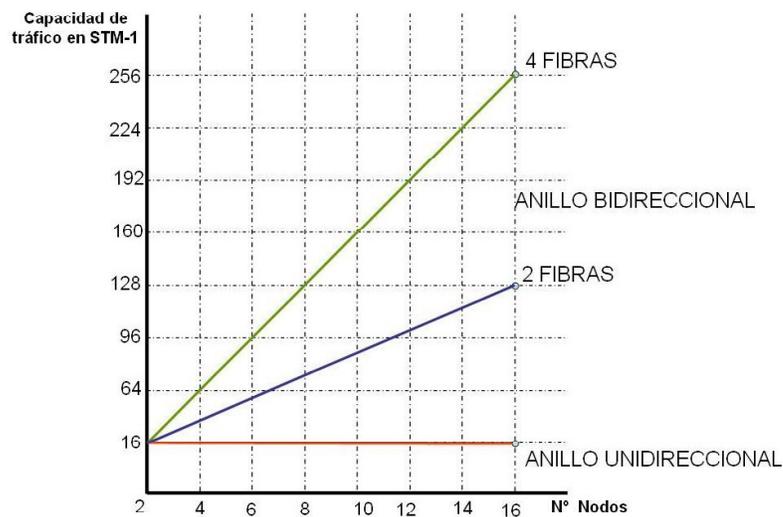


Figura 40. Comparación de capacidad de tráfico entre anillos unidireccionales y bidireccionales de 2 y 4 fibras para un sistema de alta capacidad STM-16.

3.7 CONMUTACIÓN DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS (EPS)

Con EPS una unidad de repuesto substituye completamente una unidad con fallas. EPS es la acción tomada como consecuencia de la detección de una avería permanente del hardware (interna) en una unidad. EPS es aplicable solamente a las unidades que se interconectan eléctricamente. Para la administración de EPS, las unidades usadas como repuestos deben almacenar una copia de la configuración de las unidades protegidas.

3.7.1 Tipo de protección para unidades de tributarios

EPS utiliza una protección 1+N, esto es, la unidad de protección protege a los tributarios del 1 al 8, como muestra la Figura 41 (Pág. 71).

Esta protección se aplica a todo el tributario eléctrico (140 Mb/s, STM1 eléctrico)

EPS 1+N es solamente reversible.

Las conexiones eléctricas del tributario son realizadas en los módulos de conmutación (Switch Modules) montados en la parte superior del subrack. Los módulos de conmutación se diferencian para cada tipo de conexión. Se utilizan también dos unidades de conmutación en la configuración 1+N para tributarios eléctricos de 140 Mb/s y STM1.

En la Figura 41 (Pág. 71) se muestra esta conexión. En este caso se utilizan los módulos de conmutación y dos unidades de conmutación.

Los 140 Mb/s o las señales eléctricas STM1 están conectados con el tributario relevante a través de los módulos de conmutación. Los módulos pueden conmutar las señales de transmisión Tx 1 a 16 hacia la unidad de conmutación 1, las señales de recepción Rx de 1 a 16 conmutan hacia la unidad de conmutación 2. Las unidades 1 y 2 del switch están conectadas a la protección bitributaria al lado de Tx y de Rx respectivamente.

Cuando un par de módulos conmuta (comandos MSW 1 - 8), la unidad de conmutación (1 y 2) selecciona la señal conmutada y la conecta a la unidad de protección.

La unidad tributaria de repuesto guarda la misma configuración de las unidades tributarias con averías (140 o STM1 para cada puerto).

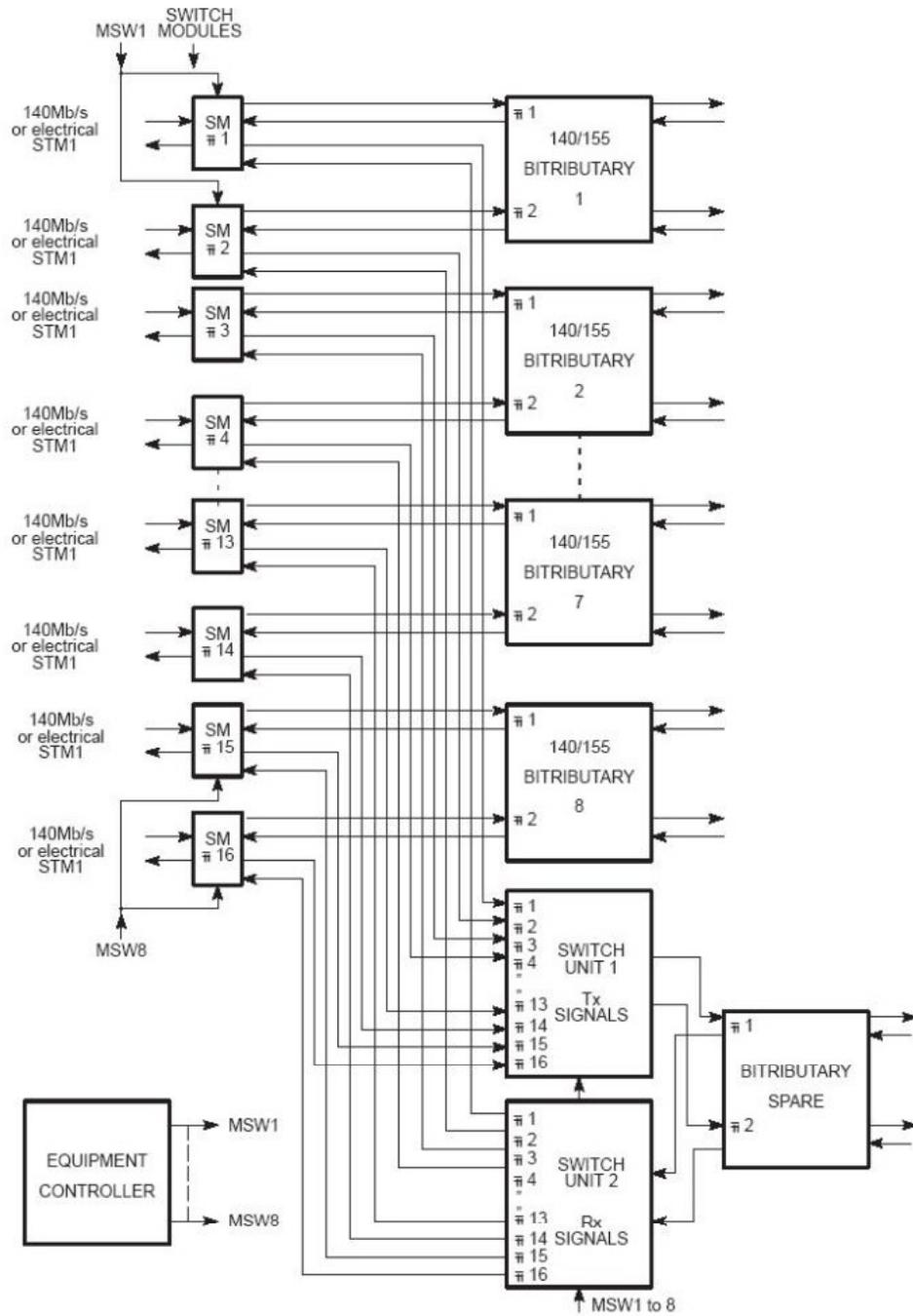


Figure 41. Conexión 1 + N, bitributarios eléctricos 140 Mbit/s / 155 Mbit/s.
(Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.7.2 Modo de operación de la conmutación EPS

La descripción está en la Figura 42 y es válida para las protecciones 1+1 y 1+N. La unidad de protección contiene el “EPS Decisor”, el cual tiene como función procesar el estado de alarma recibido de los tributarios de trabajo (OK-KO 1 a N). El “EPS Decisor” tiene en cuenta, en el caso de la protección 1+N, la prioridad de las señales.

Significado de las señales OK - KO:

- OK: UTILICE LA UNIDAD DE PROTECCIÓN. La unidad de repuesto está disponible y está substituyendo una unidad de trabajo con falla (“condición de PROTECCIÓN”).
- KO: NO UTILICE LA UNIDAD DE PROTECCIÓN. La unidad de repuesto ha fallado o ninguna unidad de trabajo ha fallado (condición “IDLE”).

Las otras unidades referidas a la conmutación reciben la señal de OK - KO de la unidad de protección. Las señales de OK - KO también se reciben de las unidades de trabajo usadas en el analizador de prioridad (decidor priority) para detectar el tributario de trabajo a sustituir con una unidad de protección (1+N).

Los circuitos HWP (Hardware Protection) de la unidad conectada conmutan a la unidad de protección tributaria.

Las señales OK-KO también se envían hacia el controlador del equipo (Equipment Controller).

De esta manera el controlador del equipo envía los comandos MSW1:MSW8 a los módulos de conmutación y a la unidad de conmutación según lo descrito arriba. Las señales funcionales de OK-KO, cuando son transmitidas a varias unidades, se llaman OSW (Output) y ISW (Input)

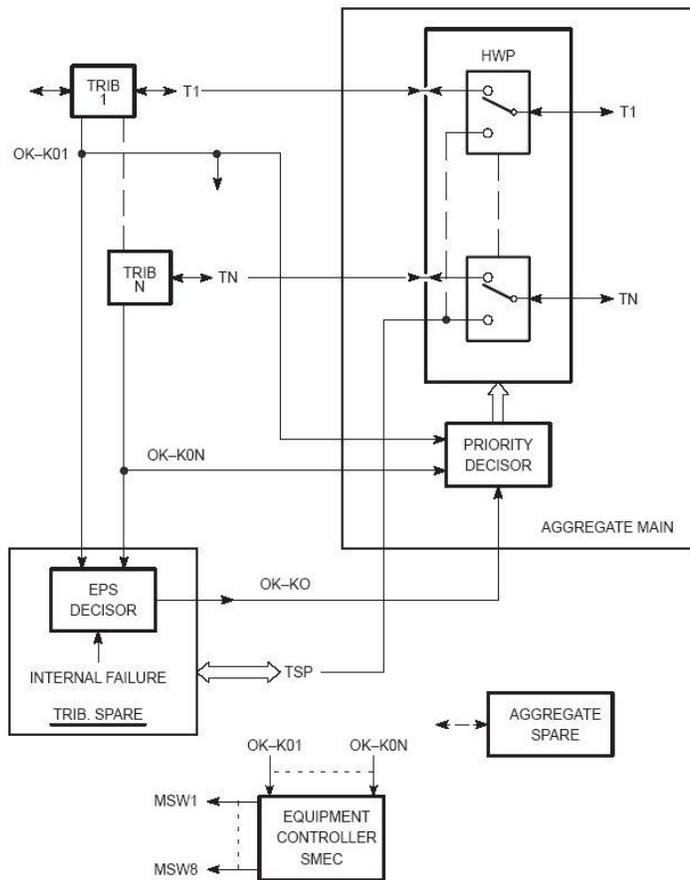


Figura 42. Operación EPS. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook)

3.7.3 EPS para CRU (Clock Reference Unit)

La protección funciona a nivel de la unidad y permite conmutar a una unidad de repuesto según los arreglos siguientes:

- Unidad de referencia del reloj: conmutación no reversible de 1+1.

La conmutación ocurre los según criterios asociados a un fallo de la unidad (fallo de la tarjeta) o a cualquier falta interna (tarjetas extraviadas, incompatibilidad de tarjetas o software, tarjetas sin respuesta).

La conmutación 1+1 (no reversible) de la unidad CRU implica todas las unidades que procesan los sincronismos recibidos de la misma CRU A y B (tributarios, agregados, AUX/EOW), sin la intervención de la unidad de control del equipo. Todas las unidades conmutan apenas que se recibe la señal de alarma del fallo de la unidad desde el mismo CRU A/B. Las señales CKA/B, (los relojes) y el la CRU A/B ALARM se ilustra en la Figura 43.

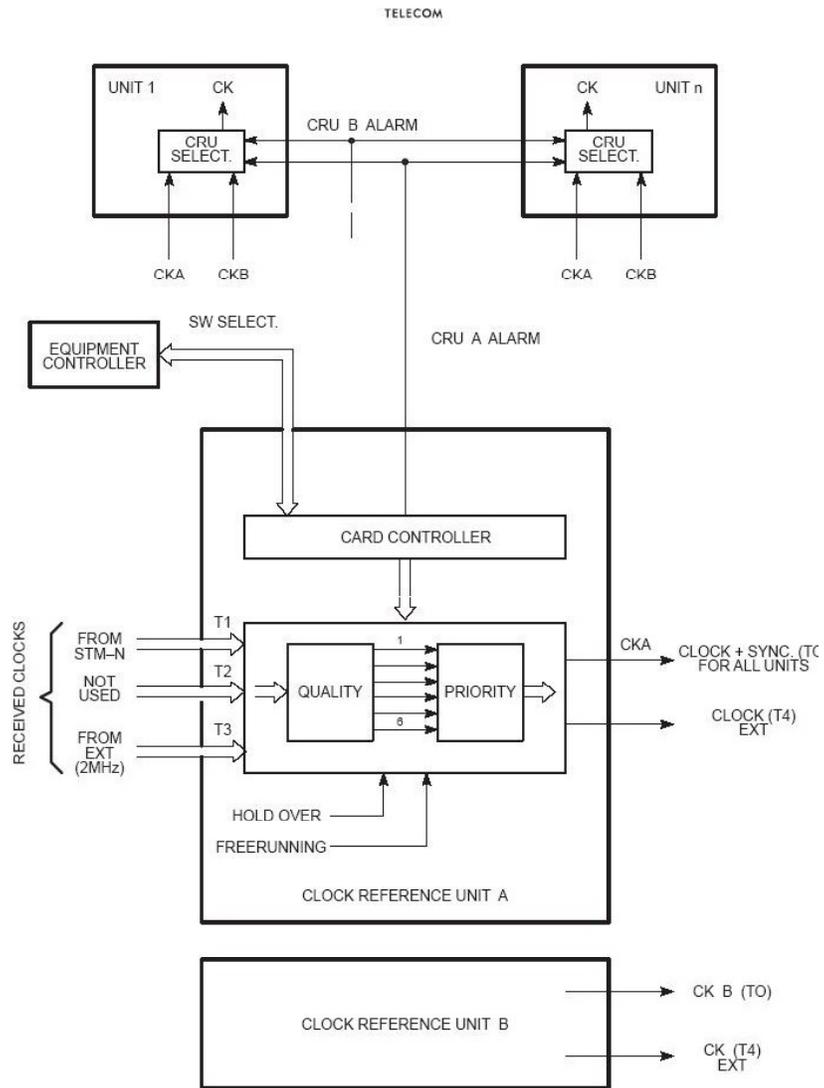


Figura 43. EPS para CRU. (Fuente: Alcatel 1664SM Technical Handbook).

4. PRINCIPALES REDES SDH METROPOLITANAS DE CARTAGENA

A continuación se describen dos de las más importantes redes SDH con que cuenta la ciudad de Cartagena: la red SDH de Promigas Telecomunicaciones y la red SDH de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES. Se escogieron estas dos redes por poseer infraestructuras sólidas las cuales brindan una alta disponibilidad, indispensable para realizar un estudio más detallado sobre los mecanismos y arquitecturas de red en anillos metropolitanos.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED PROMIGAS TELECOMUNICACIONES

4.1.1 Red de fibra

La red metropolitana de Promigas Telecomunicaciones S.A. en Barranquilla y en Cartagena transmite por fibra óptica, y corresponde a una topología en anillo compuesta por un backbone ATM que se transporta sobre una red SDH utilizando el procedimiento de auto recuperación, así como la conmutación de rutas empleando equipos multiplexores con funcionalidades de conexión cruzada digital y la facilidad de protección que ofrece una red de SHR (Self Healing Ring). La red soporta diversos protocolos, como Frame Relay, ATM, IP y CCH, y cuenta con la cantidad de puertos V.24, V.35, Ethernet y E1's necesarios para satisfacer la demanda. El diseño de la red de fibra óptica, la distribución de los switches ATM,

así como la de los equipos de acceso y concentración, están basadas en la ubicación de clientes finales (industria, comercio, servicios, financieros, etc.) y en la de los puntos de presencia de los operadores de telecomunicaciones en cada ciudad. Desde uno de los nodos de Barranquilla se realiza la gestión centralizada de la red para las dos ciudades.

4.1.2 Cobertura

El backbone comprende 153 kilómetros de fibra óptica, 100% canalizada y en forma de anillo, 75 kilómetros en Barranquilla y 78 en Cartagena (ver Figura 44). Para el trazado de la ruta se tuvo en cuenta, principalmente, el cubrimiento de las zonas industriales y comerciales, además de los puntos de concentraciones de los operadores locales y nacionales. De esta manera, se logró construir la red de fibra óptica 100% redundante.



Figura 44. Cobertura de la red de Promitel Cartagena

4.1.2 Arquitectura de la red

La red de cada una de las dos ciudades, está conformada por dos switches ATM y una red de transporte de SDH STM-16 instalada en anillo. Barranquilla cuenta con ocho nodos de acceso a clientes y Cartagena (ver Figura 45 y Figura 46) con cinco. En los nodos están instalados equipos de acceso y concentración ATM/FR.

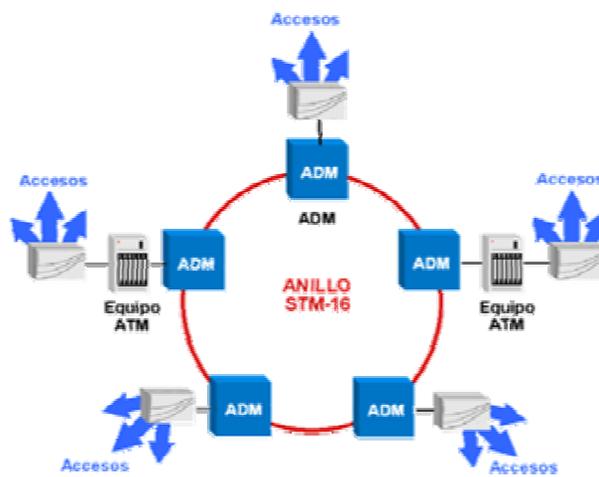


Figura 45. Arquitectura de la red de Promitel

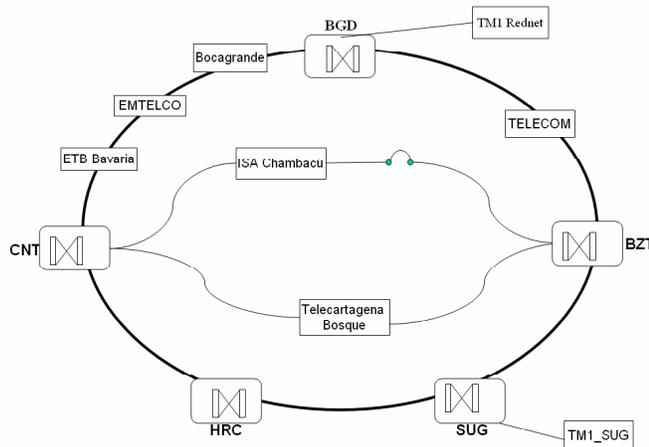


Figura 46. Anillo metropolitano Promitel

4.1.3 Equipos ADM y disponibilidad de la red Promitel

La red de transporte SDH de Promitel está montada sobre multiplexores Add/Drop de Lucent Technologies. Utiliza el WaveStar™ ADM 16/1 (ver características y especificaciones técnicas en Anexo B) el cual es una sencilla plataforma para aplicaciones STM-16, STM-4 Y STM-1. El mecanismo de protección del anillo STM-16 es el 4F MS-SPRING, el cual protege el anillo en caso de daños en tramos y además protege las secciones múltiplex. 4F MS-SPRING se configura en cada uno de los 5 nodos de la red. A nivel de subred se utiliza el mecanismo SNCP. En teoría la red es 100% redundante, sin embargo el equipo trae una disponibilidad de 99.9999% (6 nueves), lo que corresponde a 30s/año de downtime, una buena cifra considerando que la red es de alto tráfico. Además el grado de restablecimiento es 50ms como máximo. La capacidad de tráfico depende del número de nodos (5) en este caso sería de $16 \text{ STM-1} \times 5 = 80 \text{ STM-1}$.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE COLOMBIA TELECOMUNICACIONES

COLOMBIA TELECOMUNICACIONES opera una red de transmisión compuesta por la superposición de diferentes redes como son su red analógica inalámbrica, una red de microondas digital PDH, una red de microondas digital SDH y su anillo troncal de fibra óptica de cobertura nacional. Esta infraestructura le permite a COLOMBIA TELECOMUNICACIONES ofrecer el servicio en toda la geografía nacional utilizando sus distintas redes para proveer redundancia en las

comunicaciones. COLOMBIA TELECOMUNICACIONES cuenta con una red de microondas análoga que utiliza T-mux (Trans Multiplexores) para conectarse a las centrales digitales. COLOMBIA TELECOMUNICACIONES cuenta con una red digital de microondas SDH con una capacidad STM (2+1) y PDH basada en una capacidad de 140 Mbps. De otra parte, COLOMBIA TELECOMUNICACIONES cuenta con una red troncal de fibra óptica nacional compuesta de dieciocho pares de fibra con una extensión 4.182 kilómetros de red que interconecta aproximadamente cincuenta ciudades, con velocidad de transmisión de 2.5 Gbps lo que permite la transmisión de voz, datos e imágenes, y duplica el número de circuitos básicos para larga distancia. La red comprende los siguientes enlaces³⁵:

- Bogotá - Ibagué - Armenia – Cali
- Bogotá – Bucaramanga
- Cali - Pereira - Manizales - Medellín
- Cali - Pasto
- Bucaramanga - Santa Marta
- Medellín - Montería - Barranquilla
- Girardot - Neiva
- Tolú – Sincelejo
- Santa Marta – Barranquilla - Cartagena – Tolú (cable submarino).

³⁵ El Servicio Portador. [Artículo en Internet].
http://www.crt.gov.co/documentos/infeconomica/publi_sector/Cap8_ElServicioPortador.pdf

La red tiene dos (gateways) puertos en Bogotá (incluyendo el cable submarino Panamericano) y uno en Barranquilla, e interconecta con la red alterna de microondas de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES en Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Cali, Medellín y Pereira. Para la transmisión internacional, COLOMBIA TELECOMUNICACIONES cuenta con un sistema satelital (estación Chocontá), sistemas microondas (enlaces fronterizos con países vecinos) y cables submarinos de fibra óptica que le permiten conectar al país con el mundo. De éstos últimos sobresalen el TCS 1(Transcaribeño) que enlaza a Barranquilla con San Juan de Puerto Rico y West Palm Beach (Estados Unidos) y tiene extensiones a Jamaica y República Dominicana, con una longitud de 4.533 Kms. El Cable Panamericano: permite conectar Estados Unidos, Centro y Sur América, ofrece servicios conmutados de banda ancha y acceso de banda ancha a Internet: este cable se extiende desde Estados Unidos a Islas Vírgenes, Venezuela, Colombia, Panamá, Ecuador, Perú y Chile, con una longitud aproximada de 7.000 Kms y un costo de US\$214 millones. El cable usa protocolo SDH, el primero en Sur América, tiene una capacidad de 2.4 gigabit/segundo, que equivale a 60.480 canales de voz.

4.2.1 La red de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES en Cartagena

La red que se muestra en la Figura 47 es la Red de Transmisión de CARTAGENA de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES, la cual corresponde a una topología en anillo transporta sobre una red SDH utilizando el procedimiento de auto

recuperación, así como la conmutación de rutas empleando equipos multiplexores con funcionalidades de conexión cruzada digital y la facilidad de protección que ofrece una red de SHR (Self Healing Ring).

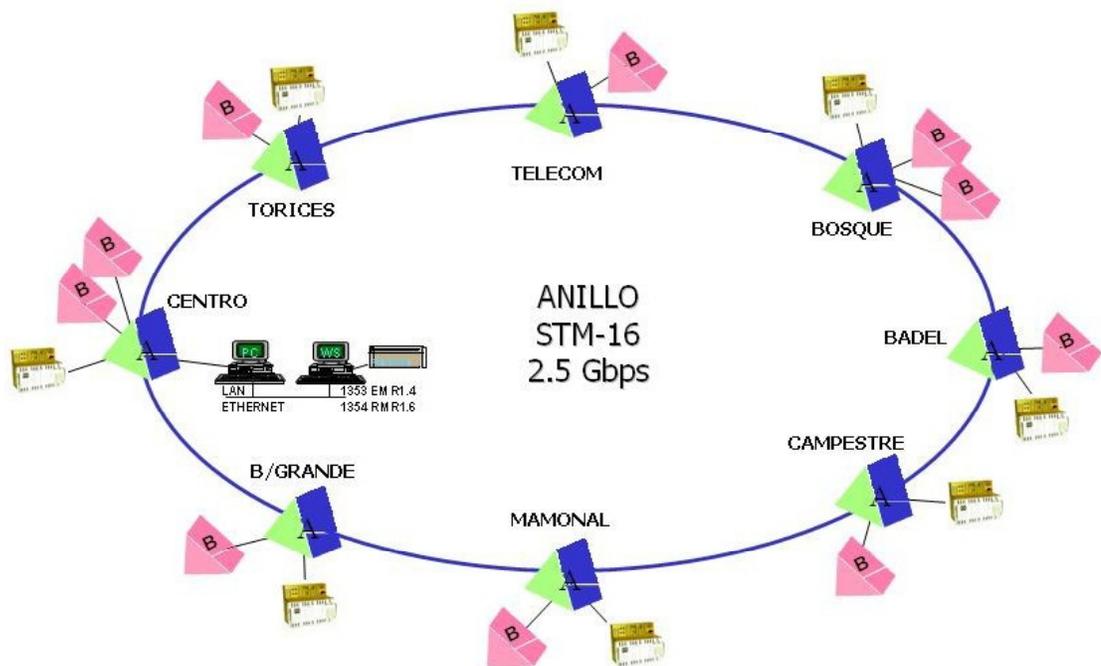


Figura 47. Red de Transmisión de CARTAGENA
Equipo SDH ALCATEL 1641 SM y 1664 SM

4.2.2 Equipos ADM y disponibilidad de la red de TELECOM

Esta red montada sobre los equipos SDH ALCATEL (ver características y especificaciones técnicas en Anexo C) 1641 SM (subredes STM-4) y 1664 SM

(anillo metropolitano STM-16). Al igual que la red de Promitel el mecanismo de protección del anillo STM-16 es el 4F MS-SPRING. 4F MS-SPRING se configura en cada uno de los 8 nodos (Alcatel 1664SM) de la red. En cada uno de estos nodos también se ubica un equipos Alcatel 1641SM encargados de brinda acceso a las subredes, exceptuando los nodos de Bosque y Centro que poseen cada uno dos, esto para propósitos de cubrir el tráfico necesario en el sector. En las subredes el mecanismo utilizado por el Alcatel 1641SM es Drop & Continue, configuración ideal para manejar tráfico a nivel de STM-1 y STM-4. El equipo posee también una disponibilidad de 99.9999% (6 nueves), lo que corresponde a 30s/año de downtime, además de un grado de restablecimiento de 50ms como máximo. La capacidad de tráfico depende del número de nodos (8) en este caso sería de $16 \text{ STM-1} \times 8 = 128 \text{ STM-1}$.

4.3 COMPARACIÓN DE LAS REDES DE PROMITEL Y TELECOM

Tabla 6. Comparación De Las Redes De Promitel Y Telecom

	PROMITEL	TELECOM
MECANISMO DE PROTECCION (ANILLO METROPOLITANO)	4F MS-SPRING	4F MS-SPRING
MECANISMO DE PROTECCION (SUBRED)	SNCP	DROP & CONTINUE
Nº NODOS	5	8
CAPACIDAD DE TRÁFICO	80 STM-1	128 STM-1
TIEMPO DE RESTABLECIMIENTO	50ms	50ms
DISPONIBILIDAD	%99.9999	%99.9999

De esta tabla se pueden realizar los siguientes análisis:

Si nos centramos a analizar el parámetro de capacidad podemos observar que la capacidad de tráfico que maneja Promitel es el 62.5 % (128 / 80) menor que el tráfico que maneja Telecom. Hay que tener en cuenta que Promitel es una compañía relativamente nueva con respecto a Telecom y por tanto es justificable que tenga menos nodos de interconexión y por lo tanto menos capacidad; sin embargo, si hacemos un análisis más profundo de estas cifras se puede ver el rápido crecimiento que ha tenido Promitel con respecto a Telecom debido a que estamos comparándolos en intervalos de tiempo en que fueron creadas estas empresas. Esto concluye la capacidad de crecimiento de los nodos de interconexión y lo significativo que esta siendo la capacidad de tráfico de Promitel. Observando los parámetros de tiempo de respuesta como de disponibilidad se puede ver que son los mismos, debido a que cada una de las compañías utilizan equipos con características similares y este parámetro viene implícito en cada uno de estos.

Por último si analizamos el mecanismo de protección, se observa que ambas compañías utilizan 4F MS-SPRING este mecanismo es el más usual debido a que se tiene protección por cada fibra esto hace que la disponibilidad sea más alta.

5. CONCLUSIONES

La utilización de anillos de alta capacidad basados en la arquitectura de protección bidireccional contiene, sin duda, ventajas sobre la arquitectura de protección unidireccional a la hora de compararlos. La ventaja principal de la protección bidireccional es que puede maximizar el ancho de banda y proveer una mayor capacidad de tráfico sobre otros tipos de anillo ya que se manejan los mismos volúmenes de información en ambos sentidos. En el caso de un anillo bidireccional de alta capacidad por ejemplo STM-16, la capacidad máxima de tráfico se calcula mediante $n \times 16 \times \text{STM-1s}$, donde n es el número de nodos (hasta un límite de 16, de acuerdo con las normas UIT-T), con un máximo de $16 \times \text{STM-1s}$ para anillos unidireccionales.

La implementación de las dos arquitecturas estudiadas anteriormente, puede ser llevada a cabo utilizando 2 o 4 fibras ópticas. Sin embargo, el mecanismo de protección a través de 4 fibras ofrece más ventajas sobre el mecanismo de 2 fibras. Las ventajas más importantes son comentadas a continuación:

- Capacidad de tráfico: en el caso de un sistema de alta capacidad STM16, la capacidad máxima es de $16 \times 16 \times \text{STM-1s} = 256 \text{ STM-1s}$ de tráfico principal. Adicionalmente otros 256 STM-1s se pueden configurar para el transporte de tráfico de baja prioridad.

- A través de la combinación del balance de tráfico alrededor del anillo, y el mecanismo de protección de 4 fibras, el diseño de la red es siempre optimizado. Este sistema está diseñado para soportar la demanda de tráfico actual y futura sobre la misma red planeada inicialmente.
- En sistemas de alta capacidad, donde la cantidad de tráfico es mayor, el factor de protección es muy importante. El mecanismo de protección de 4 fibras provee doble protección, y además de la protección de anillo (bidireccional), cuenta también con la protección de enlace. Esto permite un diseño, de una red con protección total y con diversidad de rutas, cuando es requerido.
- Menor costo por bit transmitido comparado con sistemas de 2 fibras.
- Tecnología madura y comprobada.

La capacidad de transporte de la red Promitel es alta por distribuir la demanda de tráfico entre dos ciudades. Esta empresa con su anillo STM-16 cubre el tráfico de datos entre Cartagena y Barranquilla con un total de 13 nodos (8 Barranquilla y 5 Cartagena), con una capacidad de 208 STM-1's, suficientes para satisfacer las demandas de los clientes en ambas ciudades. Es una gran red metropolitana y por lo tanto, se hace necesario un esquema de protección lo suficientemente robusto para mantener la red siempre disponible ante cualquier fallo.

Aunque la red de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES es también robusta, con un alto grado de redundancia, está sobredimensionada debido a que el equipo que

adquirieron, en este caso el Alcatel 1664SM, brinda herramientas y capacidades de tráfico mucho más elevada de las que necesitan hoy en día en Cartagena. Aparentemente esta inversión en su momento representaba un gasto innecesario para la empresa, pero con el crecimiento acelerado que tienen las telecomunicaciones debido a las altas demandas de las aplicaciones que se vienen manejando, probablemente este equipo sea el óptimo para cubrir dichas necesidades en un futuro muy cercano.

Teniendo en cuenta las ventajas del mecanismo de protección de cuatro fibras descritas anteriormente, es justificable la elevada inversión que las dos empresas analizadas hicieron al implementar este tipo de protección en sus redes.

ANEXO A.

UNA INFRAESTRUCTURA SUBMARINA PARA SOPORTAR EL DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN AMÉRICA LATINA

El sistema de cable submarino de última generación SAm –1 (Sud América – 1) ha sido la respuesta del Grupo Telefónica a través de Emergia, a la creciente demanda de comunicaciones internacionales, principalmente Internet, en América Latina, posibilitando un gran paso hacia “la nueva sociedad de la información” en la Región con mayor futuro en el área de las Telecomunicaciones. Este sistema ha sido y es el primer anillo submarino autorrestaurable en unir los principales mercados de Latinoamérica, entre sí y con los Estados Unidos, tanto en tiempo, como en capacidad, cobertura, capilaridad y calidad. Su construcción se inició en Julio de 1999 y el primer tráfico comercial entre Buenos Aires y Sao Paulo fue establecido en el mes de septiembre del año 2000. La conexión entre Santiago de Chile y Buenos Aires con Boca Ratón, Estados Unidos, se concluyó a mediados de Enero del 2001 por el Atlántico, y el 1 de Marzo del mismo año se finalizó el anillo completo y las extensiones terrestres a los Puntos de Presencia en las principales ciudades, con una capacidad inicial de 40 Gbps.

Configuración De Red

El Sistema SAm – 1 se configura como un anillo autorrestaurable de 25.000 Km. de longitud, de los cuales 22.000 son submarinos y 3.000 terrestres (un segmento transandino que cruza Argentina y Chile y otro que atraviesa Guatemala desde su costa del Pacífico a la del Caribe). El Anillo conecta 12 estaciones de amarre ubicadas en 7 países: Argentina, Brasil (4), Puerto Rico, Estados Unidos, Guatemala (2), Perú y Chile (2).

La red también incluye alrededor de 1.600 km. de enlaces terrestres (backhaul) en configuración 1+1, que unen las estaciones de amarre con Puntos de Presencia (PdP) en las principales ciudades de América Latina y Estados Unidos, incluyendo Buenos Aires, Sao Paulo, Río de Janeiro, Miami, Ciudad de Guatemala, Lima y Santiago de Chile.

Tanto en las Estaciones de Amarre como en los Puntos de Presencia existen interconexiones con los principales proveedores de red domésticos que existen en cada ubicación, así como espacio reservado para la “colocación” de equipos de cliente. De esta forma se garantiza la máxima accesibilidad y capilaridad en cada uno de esos lugares.

Esta red (ver Figura A1) posibilita la prestación de servicios de ancho de banda con conectividad ciudad a ciudad de forma homogénea, transparente y protegida y en configuración de red abierta.



Figura A1. El Sistema SAM – 1

Capacidad Y Topología

La capacidad inicial del sistema es de 10 Gbps en cada uno de los 4 pares de fibra de que consta el anillo, para un total de 40 Gbps. Esta capacidad puede ir ampliándose en bloques de 40 Gbps hasta un máximo de 1,92 Tbps, a través de la utilización de la técnica de multiplexación por división de longitudes de onda (DWDM), que permite en este caso la transmisión simultánea de 48 longitudes de onda por fibra. Toda la planta submarina está equipada desde el inicio para

acomodar la capacidad máxima del sistema, siendo necesario únicamente instalar el equipamiento SDH necesario en las extensiones de amarre y Puntos de Presencia para llevar a cabo las ampliaciones de capacidad.

La (Figura A2), refleja la topología del sistema basada en dos anillos, uno interno que une todas las estaciones de amarre para tráfico ómnibus y otro externo que no pasa por Río de Janeiro ni por Salvador de Bahía, ambas en Brasil, para tráfico exprés.

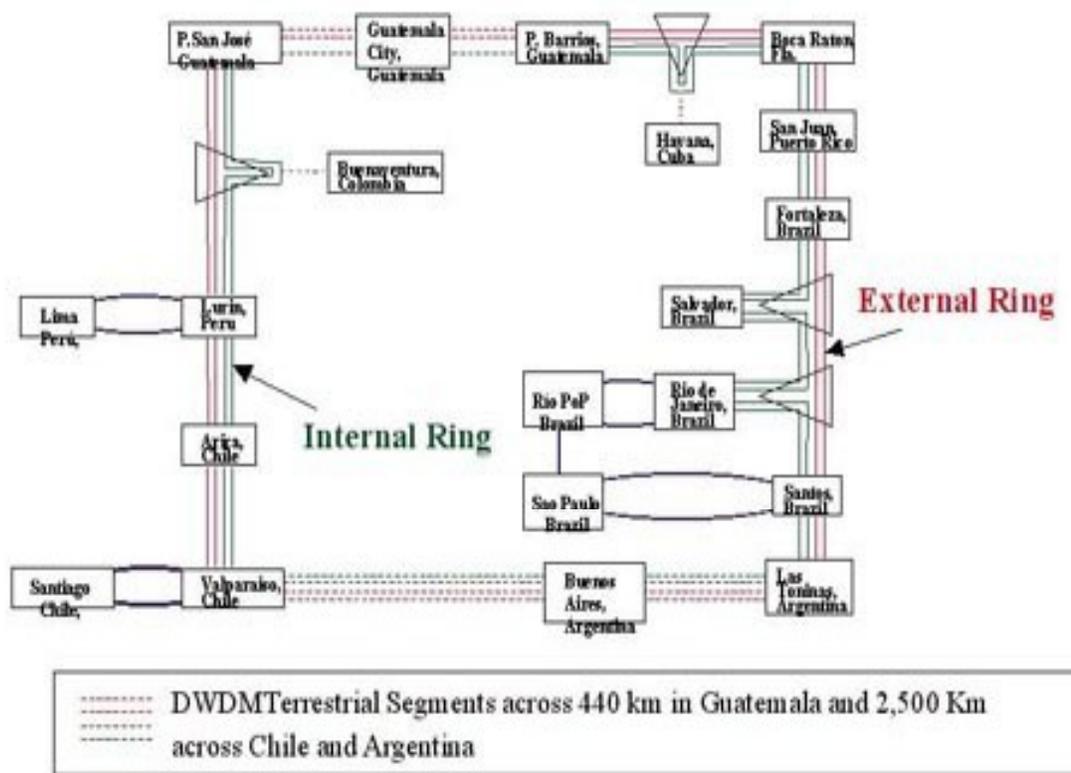


Figura A2. Topología del sistema Sam-1

Cada estación de amarre en festón, estaciones en las que amarran dos segmentos de cable submarino, podría terminar hasta 80 Gbps en la capacidad inicial, mientras que las estaciones de Río y Salvador, en las que sólo amarra un segmento de cable procedente de una Unidad de Ramificación, podrían terminar solamente 40 Gbps. En ambos caso, la mitad de la capacidad se utiliza para tráfico de servicio y la otra mitad para protección.

Sincronización

El sincronismo de la red se soporta en 3 sistemas independientes y complementarios. Todas las estaciones están integradas en un sistema de sincronización común, vía un acceso GPS independiente que asegura una fuente de sincronismo de acuerdo a la norma ITU – T G.811 (Stratum 1). Adicionalmente, cada estación dispone de una fuente primaria de referencia (PRR-10) que incluye un módulo de referencia redundante de acuerdo a la norma ITU – T G.812 (Stratum 2) basado en un oscilador de Rubidio y otro módulo norma ITU – T G.815 (Stratum 3) basado en un oscilador de cuarzo.

PLANTA SUBMARINA

La Figura A3 muestra la configuración típica de un segmento submarino. El sistema usa el cable de Tyco Telecom SL – 17 L diseñado para sistemas ópticos transoceánicos, que mediante la combinación de diferentes tipos de fibra (Large Mode Field–LMF, High Dispersion Fiber–HDF, y Non- Dispersion Shifted Fiber –

NDSF) consigue la optimización del mismo para el empleo de la técnica DWDM en este caso hasta 48 longitudes de onda.

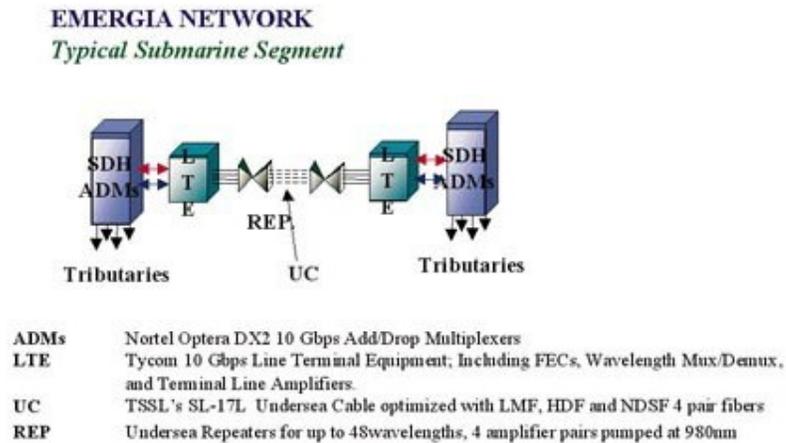


Figura A3. Configuración de un segmento submarino

Dependiendo de las características del fondo marino se han utilizado hasta cinco tipos de cable en términos de protección, desde el cable ligero de fondo para alta profundidad y suelo arenoso, hasta el cable doble armado para suelos rocosos de alta abrasión y contra agresiones de agentes externos (artes de pesca, anclas, etc).

Adicionalmente para profundidades inferiores a las 1.500 m se ha realizado el enterramiento del cable, típicamente entre 1 y 1,5 m por debajo del fondo marino y en las aguas someras cercanas a la costa, además, el cable se ha protegido con “medias cañas” de hierro fundido.

Segmentos Terrestres

La Figura A4. Muestra la configuración típica de los segmentos terrestres tanto de los que forman parte del anillo en sí como de las extensiones a los Puntos de Presencia.

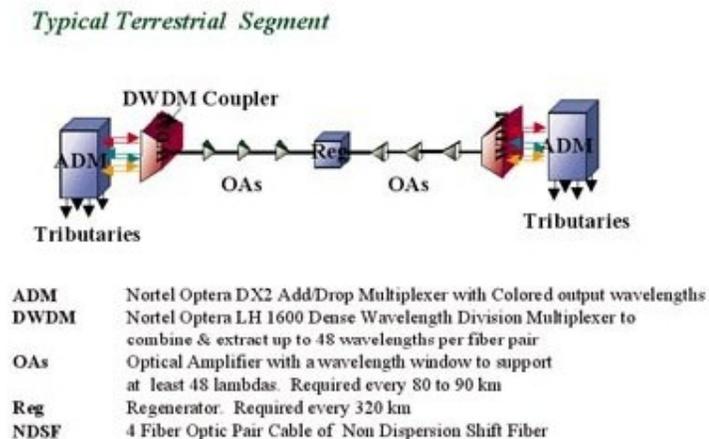


Figura A4. Configuración de los segmentos terrestres.

Los equipos ADM de inserción y extracción de enlaces en jerarquía digital síncrona (SDH) son los Optera Connect DX – 3 de Nortel Networks, que soportan interfaces de alta velocidad STM-64, con capacidad de inserción y extracción al 100% para enlaces de servicio de media y baja velocidad, STM-16, STM-4 y/o STM-1. Asimismo, estos equipos soportan las funcionalidades de protección que se explican a continuación.

Arquitectura De Protección

Existen dos tipos de protección en el sistema, la protección de segmento (Span switching) que en caso de fallo del interfaz STM-64 o problema en el par de fibras de trabajo, conmuta al par de protección (Figura A5) y la protección en anillo que actúa en caso de corte del cable.

La protección en anillo estándar (MS- Spring – Multiple Section Shared Protection Ring) está mejorada en el sistema SAm – 1, utilizando la facilidad Head – End Ring Switching (HERS) que proveen los ADM Optera Connect DX-3 de Nortel, de acuerdo a la norma ITU G.841, Anexo A, para protección transoceánica (Figura A6) Esta facilidad reduce los tiempos de conmutación y el riesgo de largos retardos de propagación durante un corte, encaminando el tráfico por el camino más corto posible de restauración.

Emergia NETWORK
Traffic Protection Under a Cable Failure
Span Switching

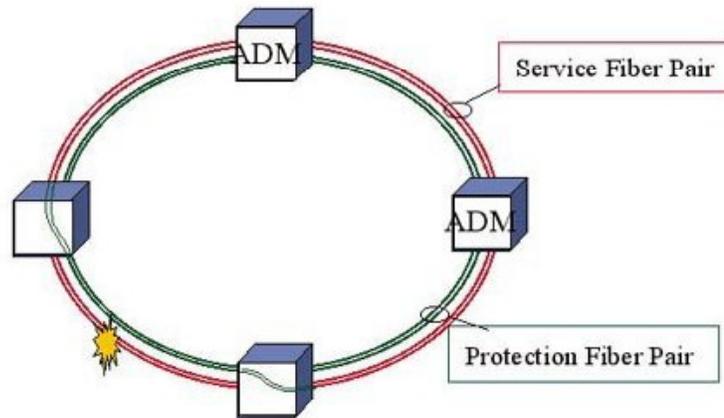


Figura A5. Protección de segmento

Traffic Protection under a fiber failure
Ring and Transoceanic Switching

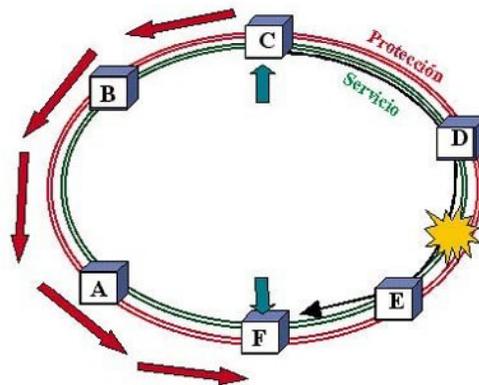


Figura A6. Protección en anillo

También en los enlaces con los puntos de presencia (backhauls) está implantada la restauración de segmento (Figura A7).

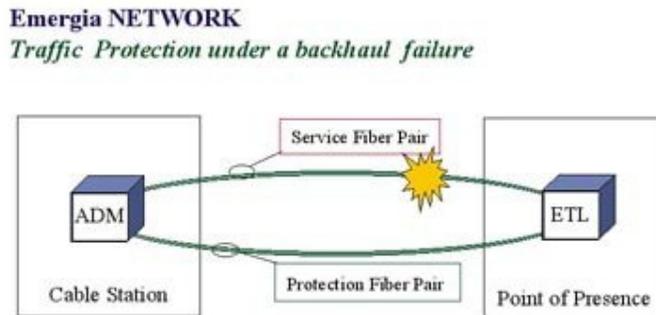


Figura A7. La restauración de segmento

Gestión, operación y mantenimiento del sistema.

El sistema de gestión de red del Sam-1 es el resultado de la integración del TeraWare Network Management System (TNMS) de Tyco Telecom y el Integrated Network Manager (INM / Preside) de Nortel, donde este último actúa como gestor de gestores correlacionando las fallas de la planta sumergida con los circuitos STM-64, STM-16, STM-4 y STM-1 afectados.

La (Figura A8) muestra un diagrama de bloques de la integración de ambos sistemas para el control global de los elementos de red submarina y terrestre. Este sistema de gestión de red integrado realiza la gestión de averías, gestión de calidad, gestión de configuración, y provisión de circuitos extremo a extremo, es decir Punto de Presencia a Punto de Presencia, posibilitando entre otras cosas la

provisión de nuevos circuitos de cliente dentro de la red en tiempo real. Todas las funciones anteriores se realizan desde el Centro de Operaciones de Red de Emergencia (CORE) situado en Lurín, Perú con un centro de respaldo en Santos, Brasil. Ambos atendidos durante las 24 horas, 7 días a la semana. Las responsabilidades del CORE cubren la supervisión y operación de la red, el mantenimiento, la provisión de circuitos, la atención de clientes, la gestión de averías, la administración del sistema y el control de las operaciones marinas. Estas últimas se materializan a través de un contrato de mantenimiento integral (Sea Horse) con Tyco Telecom, que supone la dedicación permanente de dos barcos cableros con base en Curaçao y Montevideo. Los puertos base se determinaron para minimizar el tiempo de tránsito a cualquier punto del sistema en caso de fallo y la probabilidad de corte de diferentes zonas marítimas.

Emergia OPERATIONS
Network Management Systems

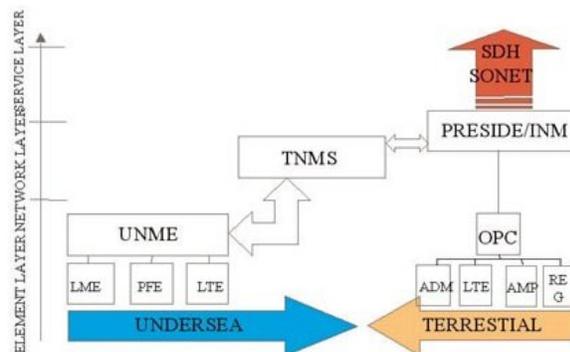


Figura A8. Sistema de Gestión de Red

CONCLUSIONES

El sistema Sam – 1 ha sido la primera red de última tecnología y con capacidad superior al Terabit en estar operacional en América Latina y cursando tráfico Internet hacia los Estados Unidos.

Su configuración en red abierta permite a los clientes – operadores la máxima cobertura y capilaridad en la Región, alcanzando prácticamente todos los centros de telecomunicación importantes de la misma (centros de datos, hoteles de carriers,...).

La robustez de su diseño y la tecnología de última generación utilizada hacen posible la prestación de servicios de ancho de banda de alta disponibilidad, superior al 99,995%, y con el resto de parámetros de calidad excediendo los estándares ITU. Asimismo, el sistema está preparado para evolucionar hacia la transmisión de protocolos IP directamente sobre la capa óptica. El sistema de gestión centralizado, la flexibilidad para configurar los servicios , y el sistema CRM (Customer Relation Manager) incorporado permiten la oferta comercial de servicios de ancho de banda en múltiples modalidades: desde ventas por la vida útil del sistema (15 años) hasta alquileres de corto o medio plazo; enlaces SDH, desde STM-1 a STM-64, y longitudes de onda; servicios protegidos, no protegidos e interrumpibles; etc.

ANEXO B. EQUIPO SDH LUCENT TECHNOLOGIES DE PROMITEL



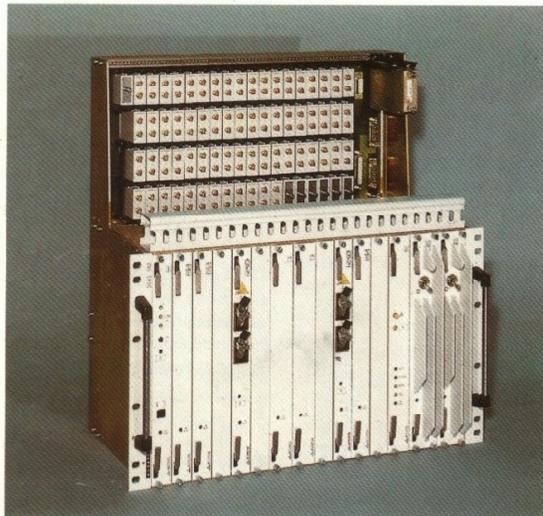
WaveStar ADM 16/1

Ver más información en la carpeta “anexo B” del CD-ROOM

ANEXO C. EQUIPOS SDH ALCATEL COLOMBIA TELECOMUNICACIONES

Alcatel 1641 SM

Multiplexor de extracción/inserción a 155 Mb/s



- Alcatel 1641 SM es un sistema de línea óptico con funciones de extracción e inserción, que cumple totalmente todos los estándares importantes de SDH promulgados por el CCITT.
- Es un terminal de línea óptico STM-1 con función de extracción e inserción (con protección 1 + 1).
- Es posible su ampliación a un interface de línea óptico STM-4.
- Posee tributarios con las siguientes velocidades: 2, 34, 45, 140 y 155 Mb/s.
- Presenta asignación dinámica de canales en la trama STM-1.
- Posee una amplia disponibilidad de canales de servicio.
- Posee facilidades de gestión de red.

Alcatel 1641 SM es un sistema de línea óptico que extrae e inserta diferentes tributarios en un flujo binario bidireccional de velocidad 155 Mb/s, realizando el acceso a las redes SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*, jerarquía digital síncrona).

La señal síncrona de agregado es una señal STM-1 standard (155.520 Mb/s), con interfaces eléctricos u ópticos, tanto para enlaces de corto alcance como para enlaces de largo alcance.

Alcatel 1641 SM también puede equiparse con interfaces STM-4 standard (622 Mb/s): En este caso, dos de los cuatro flujos STM-1 podrán ser procesados, y los otros dos restantes pasarán a través de los interfaces STM-4.

Las señales tributarias que admite el sistema tienen velocidades binarias utilizadas en el mundo digital pliesiocróno, tales como 2 Mb/s, 34 Mb/s o 45 Mb/s, 140 Mb/s. La señal STM-1 también está disponible como tributario.

El sistema cumple totalmente las Recomendaciones más importantes del CCITT tales como de la G.707 a la G.709, de la G.781 a la G.784 y las G.957 y G.958.



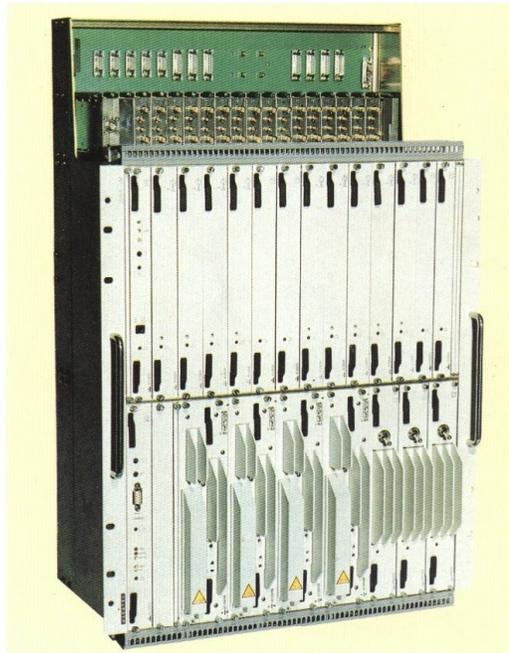
Alcatel 1664 SM

Multiplexor síncrono de extracción inserción de 2488 Mb/s (STM-16)

El sistema Alcatel 1664 SM es un multiplexor síncrono de inserción y extracción (2488 Mb/s) que cumple con las normas JDS ITU-T.

El sistema tiene las siguientes características:

- Tributarios plesiócronicos de 140 Mb/s.
 - Tributarios eléctricos y ópticos síncronos STM-1 (155.250 Mb/s).
 - Tributarios ópticos síncronos STM-4 (622 Mb/s).
 - Configuración de terminal de línea y de extracción inserción desprotegidas o protegidas a nivel de la línea óptica, a nivel de tributarios y a nivel de parte común.
 - Amplia selección de interface óptico para transmisión sobre fibras G652, G653 y G654.
 - Esquemas de protección autorreparadores en anillo:
 - SNC-P en nivel VC4.
 - Anillos de 2 y 4 fibras con protección compartida de la sección de multiplexación (MS-SPRINGS).
 - Facilidad de interconectar anillos a través de dos nodos.
 - Características de cross conector VC4.
 - Asignación flexible de los tributarios dentro de la trama básica STM-16.
 - Amplia disponibilidad de canales de servicio.
- Facilidades de gestión de red.
 - Capacidad de amplificador de fibra óptica (OFA) integrado en el propio equipo.



Ver más información en la carpeta "anexo C" del CD-ROOM