



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

**PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN, PARA LA
EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS, BASADAS EN SDH Y PDH**

Omar Hiram García Ibáñez

Asesorado por el Ing. Julio Cesar Solares Peñate

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN,
PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS, BASADAS EN SDH
Y PDH.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

OMAR HIRAM GARCÍA IBÁÑEZ

ASESORADO POR EL ING. JULIO CESAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRATICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Luis Enrique Ruiz Carballo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN, PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS, BASADAS EN SDH Y PDH,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 20 de enero de 2005.

Omar Hiram García Ibáñez

Guatemala, 26 de septiembre de 2008

Señor Coordinador de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Coordinador:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS BASADAS EN SDH Y PDH"**, desarrollado por el estudiante **Omar Hiram García Ibáñez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,


Ing. Julio César Solares Peñate
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 1 de octubre de 2008

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado:
**“PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS BASADAS
EN SDH Y PDH”**, desarrollado por el estudiante **Omar Hiram García Ibáñez**, ya que considero que
cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

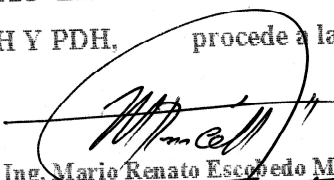


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Omar Hiram García Ibañez, titulado: PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS BASADAS EN SDH Y PDH, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 7 DE OCTUBRE 2,008.

DEDICATORIA A:

Mi esposa	Irene de García
Mis padres	Nora Megdy de García y Jaime García
Mis abuelos	Elva de Ibáñez y Pedro Ibáñez, Juanita de García y Rodrigo García
Mis hermanos	Claudia, Jaime y Josué Pablo
Las familias	Ibáñez y García

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, por su inmerecido e incondicional amor a lo largo de mi vida.

Mi familia, por sus sacrificios, consejos y apoyo incondicional.

Mis amigos que en distintas situaciones contribuyeron a forjarme en el camino recorrido.

La Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en especial al Ing. Julio Solares, quien me guio en la culminación del presente trabajo de graduación.

Pueblo de Guatemala, todas aquellas personas que con trabajo, honradez y dignidad son ejemplo a futuras generaciones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES Y DE LOS MEDIO FÍSICOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS	1
1.1. Introducción a sistemas de comunicación.....	1
1.2. Modulación por codificación de pulsos (PCM)	3
1.2.1. Muestreo	4
1.2.2. Cuantificación	5
1.2.3. Codificación	5
1.2.4. Recuperación analógica.....	6
1.3. Multiplexación por división de tiempo (TDM):.....	6
1.4. Medios físicos de transmisión de datos.....	10
1.4.1. Medios guiados	10
1.4.1.1. Par trenzado.....	10

1.4.1.2.	Cable coaxial.....	12
1.4.1.3.	Fibra óptica	13
1.4.2.	Medios no guiados.....	17
1.4.2.1.	Radio transmisión (Microondas).....	18
1.4.2.2.	Transmisión por infrarrojo	19
1.5.	Topología de redes	20
1.5.1.	Topología en estrella.	20
1.5.2.	Topología en bus	21
1.5.3.	Topología en anillo.....	23
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO PDH	25
2.1.	Historia de PDH	25
2.2.	Protocolo PDH	26
2.3.	Descripción de la trama PDH.....	29
2.4.	Topología de redes PDH.....	34
2.5.	Gestión en redes PDH	36
2.6.	Protección en redes PDH.....	37
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO SDH	41
3.1.	Historia SDH	41
3.2.	Protocolo SDH	43
3.3.	Descripción de la trama SDH.....	46
3.4.	Topología de redes SDH.....	48

3.5.	Gestión en redes SDH	50
3.5.1.	Centro de gestión.....	52
3.6.	Protección en redes SDH.....	53
3.6.1.	Protección de equipo	54
3.6.2.	Conmutación de protección	56
4.	PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS	61
4.1.	Concepto de interconexión (Crossconnection).....	61
4.2.	Interconexión en PDH	62
4.3.	Interconexión en SDH	62
4.4.	Interconectando SDH con PDH.....	63
4.5.	Criterios importantes en el uso de PDH	66
4.6.	Criterios importantes en el uso de SDH	67
5.	APLICACIONES PRÁCTICAS PDH Y SDH.....	71
5.1.	Ejemplo del caso PDH con mejor desempeño que SDH.....	71
5.2.	Ejemplo del caso SDH con mejor desempeño que PDH.....	73
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Proceso de conversión de señal analógica a digital por medio de PCM	5
2. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 1	7
3. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 2	8
4. Multiplexación y demultiplexación, paso 3	8
5. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 4	9
6. Cable de par trenzado	11
7. Cable coaxial	12
8. Incidencia y refracción	15
9. Sección transversal, cable de fibra óptica	16
10. Enlace de microonda	19
11. Topología en estrella	21
12. Topología en bus	22
13. Topología en anillo	23
14. Niveles jerárquicos básicos PDH	26
15. Niveles jerárquicos básicos PDH. Estados Unidos, Canadá y Japón.....	27
16. Velocidades y niveles jerárquicos PDH por región	28
17. Multitrama PDH	31
18. Jerarquía de multiplexación PDH	32
19. Ejemplo topología red PDH	35
20. Ejemplo red PDH	35

21. Protección de equipo – PDH	38
22. Protección de ruta – PDH	39
23. Trama básica SONET.....	44
24. Trama básica SDH, STM-1.....	46
25. Áreas trama STM-1	47
26. Ejemplo topologías de red SDH	50
27. Gestión de elementos de red.....	52
28. Gestión de elementos de red.....	53
29. Esquema funcionamiento protección N:1	55
30. Esquema de protección MSP	56
31. Protección SNC	58
32. Formación de contenedor virtual VC-12 SDH.....	64
33. Trama SDH STM-1 con 63 E1's PDH.....	65
34. Aplicación de SDH y PDH en función de las características del enlace ..	70

TABLAS

I. Tasas de multiplexación SONET/SDH	45
--------------------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción
PCM	Modulación por codificación de pulsos
TDM	Multiplexación por división de tiempo
PDH	Jerarquía digital plesiócrona
SDH	Jerarquía digital síncrona
μseg	Microsegundos
Khz	Kilohertzio
Mhz	Megahertzio
Hz	Hertzio
STM	Módulo de Transporte Síncrono
Mbps	Mega bits por segundo
Kbps	Kilo bits por segundo
PVC	Poli cloruro de vinilo
DCC	Canal de comunicación de datos
LAN	Red de área local
MSP	Protección de Sección de Multiplexación
AU	Unidad administrativa
TUG	Grupo de Unidad Tributaria
SNCP	protección de conexión de subred
VC	Contenedor virtual
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
UIT	Unión internacional de telecomunicaciones

CEPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones
RBCO	Empresas operadoras regionales Bell
NE	Elemento de red
TMN	Red de gestión de telecomunicaciones

GLOSARIO

Transmisor	Equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio.
Receptor	Equipo que recibe una señal, código o mensaje emitido por un transmisor.
Multiplexor	Dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido.
Demultiplexor	Dispositivo que puede recibir a través de un medio de transmisión compartido una señal compleja multiplexada y separar las distintas señales integrantes de la misma encaminándolas a las salidas correspondientes.
Topología de red	Cadena de comunicación conformada por dos o más dispositivos de comunicación.

Microonda	Ondas electromagnéticas con una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm.
Nodo	Punto de conexión entre dos o más elementos de un circuito
Payload	Espacio dentro de la trama SDH destinado para el transporte de datos.
Ancho de Banda	Cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo

RESUMEN

Actualmente, las urbes ya cuentan con redes extensas de transmisión de datos, teniendo una gran cobertura de la mayor parte de las ciudades. Pero las ciudades tienen un crecimiento continuo, no solo en densidad demográfica sino también en extensión geográfica. Con la globalización este crecimiento implica también una mayor demanda de conectividad con redes de datos.

Hoy en día quienes cuentan con conectividad a otras redes de datos, cuentan con un mayor alcance social y económico. Esto hace que exista un continuo crecimiento en la demanda de ancho de banda en redes actuales y nuevas.

Actualmente están surgiendo tecnologías para transporte de datos que prometen ser más eficientes y a un menor costo que las tecnologías basadas en SDH y PDH, pero un gran porcentaje de conectividad actualmente se proporciona con redes basadas en SDH y PDH. Estas redes representan inversiones millonarias que no se pueden desechar por otras tecnologías de la noche a la mañana.

De manera muy general podríamos decir que SDH es una tecnología PDH mejorada, por lo que se podría pensar a la ligera que cualquier red de datos es mejor ampliarla con tecnología SDH.

Este pensamiento es lógico, pero cuando se toman en cuenta conceptos como proyección de crecimiento, costo, disponibilidad y ancho de banda, puede que el resultado del pensamiento lógico cambie de forma inesperada.

Una planificación acertada en la ampliación de redes de datos puede hacer una gran diferencia competitiva al momento de ofrecer servicios de conectividad o transporte de datos. Para esta planificación es de gran ayuda el tener guía que incluya el análisis de parámetros importantes en el diseño de la expansión de redes de datos.

OBJETIVOS

General:

Proponer criterios básicos para la objetiva selección en la extensión de redes de datos basadas en protocolos SDH o PDH.

Específicos:

1. Definir conceptos básicos de la transmisión de señales digitales y una base teórica de los medios actuales para la transmisión de datos.
2. Descripción clara de los parámetros principales del protocolo PDH.
3. Descripción clara de los parámetros principales del protocolo SDH.
4. Explicar el concepto de interconexión (Crossconnection) en los protocolos PDH y SDH, y proponer criterios importantes para la selección de dichos protocolos al momento de extender una red de transmisión de datos.
5. Presentar dos ejemplos reales donde se describen casos específicos para la evaluación del tipo de protocolo a utilizar en la extensión de redes de transmisión de datos

INTRODUCCIÓN

En cuanto a tecnología respecta, casi siempre, lo más nuevo es mejor y la mayoría de veces lo es. No es muy diferente en redes de datos pero tampoco es una ley.

Se inicia colocando una base para el desarrollo de la tesis describiendo de forma general los conceptos básicos de PDH y SDH. Comenzando por su historia, en donde se puede observar que SDH podría compararse con PDH mejorado.

Luego se describen características importantes de las redes PDH y SDH. Entre estos parámetros están la topología que permiten utilizar, la forma de administración de los equipos y de la red y los tipos de protección permitidos por cada una de las tecnologías.

A continuación, se describen cuatro parámetros importantes a tomar en cuenta al momento de decidir ampliar una red de datos, con lo que se puede recomendar, dependiendo de la necesidad y requerimientos de ampliación, que tipo de tecnología es la optima al momento de ampliar redes de datos.

Por último, con dos casos específicos, se ejemplifica como podemos utilizar los cuatro parámetros propuestos para auxiliarnos en la toma de decisión correcta al momento de escoger la tecnología para ampliar redes de datos basadas en SDH o PDH.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES Y DE LOS MEDIO FÍSICOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS

1.1. Introducción a sistemas de comunicación

Todos los sistemas de comunicación existentes giran en torno a un objetivo específico, el cual, a su vez fue el motor principal para su propio desarrollo. Este objetivo es, sencillamente, el trasladar información de un lugar a otro.

Como agregado a la necesidad de trasladar información está el hacerlo rápido, lo cual paso de ser una característica más a prioridad en el transporte de información. Transferir de un lugar a otro información, en grandes volúmenes y además, rápido, ha sido uno de los incentivos más grandes en el desarrollo de los sistemas de comunicación.

A través de la historia han quedado evidencias de que la comunicación surgió en el mismo momento en el cual el hombre también surgió. Desde comunicarse a través de gruñidos, pinturas rupestres en cavernas, la posterior creación de un alfabeto, son ejemplos que demuestran que el hombre siempre ha buscado evolucionar en las forma de comunicación.

En 1752, el descubrimiento de la electricidad por Benjamín Franklin de Estados Unidos, fue un punto que marcó el inicio de toda una carrera continua por el estudio y comprensión de la electricidad.

En 1844, Samuel Morse puso la electricidad a funcionar aplicada a la comunicación a través de la invención del Telégrafo. Por primera vez se pudo enviar un mensaje a una gran distancia con una velocidad hasta antes no imaginada.

Más tarde, el 7 de marzo de 1876, Alexander Gramham Bell hace la mayor contribución al mundo de las comunicaciones cuando transmite el primer mensaje telefónico.

Luego de esto vinieron por consecuencia grandes adelantos tecnológicos como el radio, el teléfono y hasta la televisión. Esto es posible a la introducción del concepto de modulación. Más tarde en 1937, se utiliza este concepto para crear la Modulación por Codificación de Pulsos PCM (por sus siglas en inglés Pulse Code Modulation). Este tipo de modulación digital fue adoptada por la telefonía, e incluso aun hoy en día es utilizada.

En 1948, casi al mismo tiempo que se conociera el invento del transistor, Claude Shannon con su "Teoría matemática de las comunicaciones" desarrolla el concepto "Teoría de la información", siendo quizá, el mayor evento de las comunicaciones en el mundo.

1.2. Modulación por codificación de pulsos (PCM)

El concepto básico de la teoría de comunicaciones es que una señal tiene al menos dos estados diferentes que pueden ser detectados. Los dos estados están representados por un cero o un uno, encendido o apagado, tal y como funciona el telégrafo. Tan pronto como los dos estados puedan ser detectados, la capacidad de mover información existe.

Las combinaciones de distintos estados forman códigos, los cuales pueden representar cualquier carácter alfabético o numérico, y podrán ser transmitidos en distintas formas, utilizando máquinas diseñadas para funcionar como traductoras de códigos.

PCM es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una señal digital, con el único propósito de transmitir de una manera más eficiente información entre al menos dos puntos.

Al hablar de señal digital se refiere a una secuencia de estados binarios. PCM es un proceso en el cual se convierte una señal Analógica (valores diversos y continuos) en una señal Digital (valores definidos y discretos).

Este proceso cuenta necesariamente con varias etapas, las cuales se describen, de forma general, a continuación.

1.2.1. Muestreo

Consiste en tomar muestras del valor de la señal una cantidad n de veces por segundo lo que da como resultado n valores de señal por segundo.

Así, cuando en el sistema aplicamos en la entrada del canal una señal A , luego de la etapa del muestreo obtenemos distintas muestras de valores en puntos distintos en el tiempo que serán reflejo de la señal de entrada.

Para un canal telefónico de voz es suficiente tomar 8,000 muestras por segundo o lo que es lo mismo una muestra cada 125 μ seg. Esto es así porque, de acuerdo con el teorema de muestreo, si se toman muestras de una señal eléctrica continua a intervalos regulares y con una frecuencia, al menos, al doble a la frecuencia más elevada de la señal, dichas muestras contendrán toda la información necesaria para reconstruir la señal original.

Como en este caso tenemos una frecuencia de muestreo de 8 Khz. (período 125 μ seg), sería posible transmitir hasta 4 Khz., suficiente por tanto para el canal telefónico de voz, donde la frecuencia más alta transmitida es de 3.4 kHz.

El tiempo de separación entre muestras (125 μ seg) podría ser destinado al muestreo de otros canales, mediante el procedimiento de multiplexación por división de tiempo (TDM).

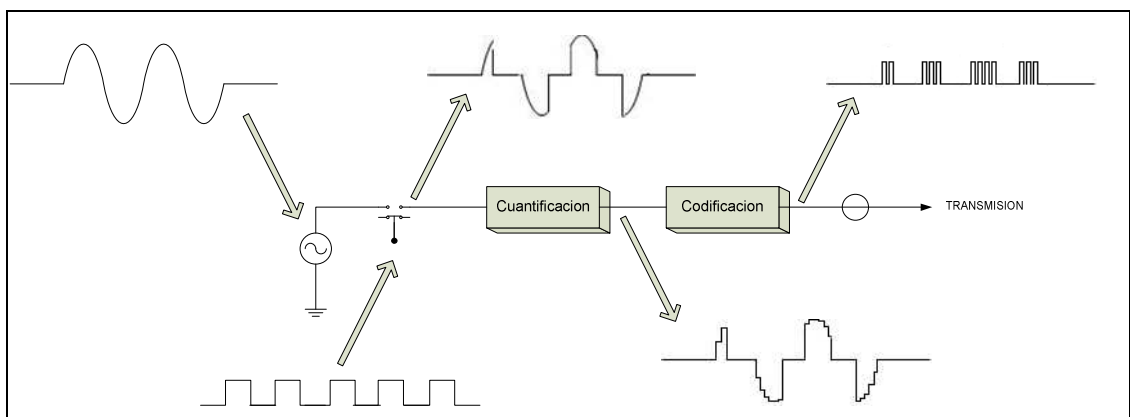
1.2.2. Cuantificación

En la cuantificación se asigna un determinado valor cuántico a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en el muestreo. Como las muestras pueden tener un infinito número de valores en la gama de intensidad de la voz, gama que en un canal telefónico es de aproximadamente 60 dB, o lo que es lo mismo una relación de valores de voltaje de 1000:1, con el fin de simplificar el proceso, lo que se hace es aproximar al valor más cercano de una serie de valores predeterminados.

1.2.3. Codificación

En la codificación, a cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario distinto, con lo cual ya tenemos la señal codificada y lista para ser transmitida.

Figura 1. Proceso de conversión de señal analógica a digital por medio de PCM



1.2.4. Recuperación analógica

Al recibir la señal PCM se realiza el proceso inverso para obtener una imagen señal muy parecida a la señal analógica original. Durante el proceso de cuantificación, debido al redondeo de las muestras a los valores cuánticos, se produce una distorsión conocida como ruido de cuantificación. En los sistemas normalizados, los intervalos de cuantificación han sido elegidos de tal forma que se minimiza al máximo esta distorsión, con lo que las señales recuperadas son una imagen casi exacta de las originales.

1.3. Multiplexación por división de tiempo (TDM):

Time Division Multiplexing TDM, por sus siglas en inglés, es un sistema de transmisión de datos el cual consiste en utilizar el mismo canal de transmisión en intervalos predeterminados de tiempo para distintos canales, obteniendo como resultado la optimización del canal de transmisión.

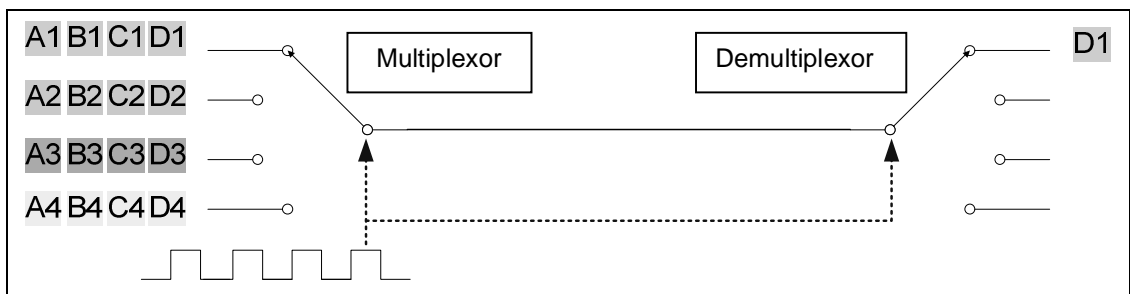
TDM fue originalmente desarrollado en los años 50 y su aplicación principal fue en la red telefónica pública, consiguiendo eliminar la gran cantidad de cables utilizados para interconectar cada usuario con la central telefónica, pues hasta este punto para cada usuario era necesario un cable que desde dicho usuario hasta la central. Esta técnica hizo uso de la tecnología emergente de esa época, electrónica del estado sólido, y fue 100% digital.

Para lograr esto se utiliza un solo canal de transmisión en intervalos distintos en el tiempo para cada distinto canal. Esto da como resultado un sistema de transmisión eficiente.

Considerando cuatro canales que necesitan transportar información diferente entre dos puntos, utilizando el sistema TDM se logra transmitir estos mismos cuatro canales, por un solo canal de transmisión. El éxito de este resultado es utilizar el canal de transmisión en tiempos lo suficientemente cortos para cada distinto canal en distintos tiempos, asegurándose que tanto el transmisor como el receptor estén sincronizados de tal manera que se logre la comunicación del canal adecuado en el momento adecuado.

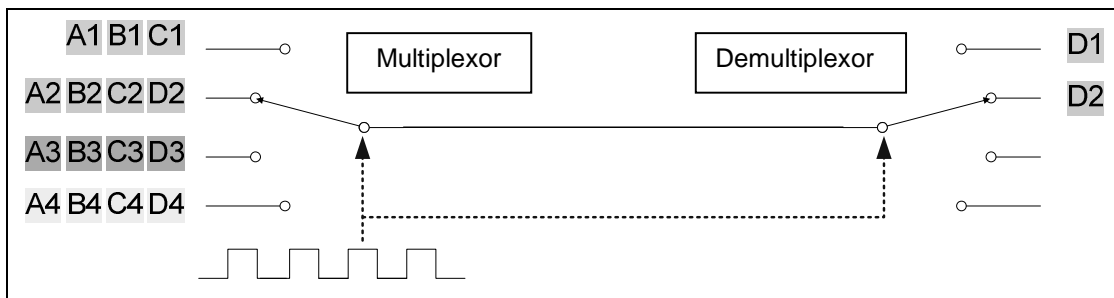
Para lograr esto es necesario multicanalizar el canal en el punto de transmisión y desmulticanalizarlo en el punto de recepción. A esto es a lo que comúnmente se le llama Multiplexación y Demultiplexación, respectivamente.

Figura 2. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 1



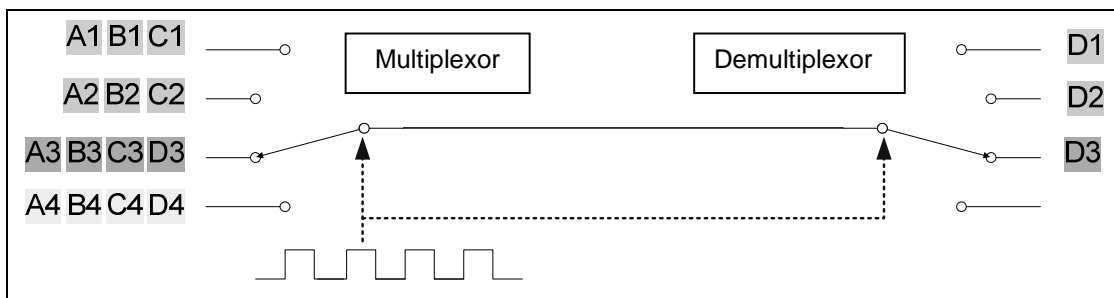
Como se observa en la figura 3, todos los canales necesitan enviar distinta información a distinto receptor.

Figura 3. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 2



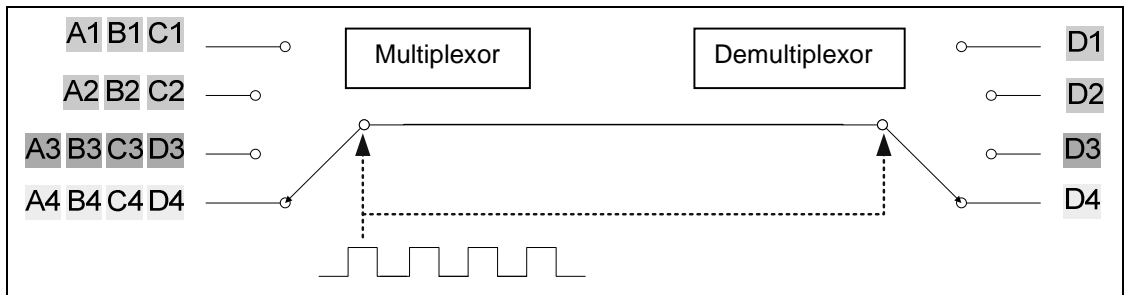
El Multiplexor envía la información de cada canal en distinto momento en el tiempo.

Figura 4. Multiplexación y demultiplexación, paso 3



La función del Demultiplexor es recuperar la información del canal adecuado en el tiempo correcto. Este proceso se repite constantemente.

Figura 5. Ejemplo multiplexación y demultiplexación, paso 4



Este sistema de transmisión ha sido tan exitoso que se utiliza hasta hoy en día.

Una aplicación típica de esta técnica es en los circuitos privados, basados en el formato E1. E1 es un estándar de la ITU (International Telecommunication Union, por sus siglas en inglés, que significa Unión Internacional de Telecomunicaciones), que soporta una tasa de transmisión de 2.048 Mbps. Cada canal E1 contiene tramas con 32 canales de voz multicanalizados (30 canales son para voz y 2 canales son para la señalización).

Esto permite que 30 conversaciones de voz sean transmitidas por un mismo canal simultáneamente multicanalizadas en el tiempo, obviamente, transparente al usuario.

1.4. Medios físicos de transmisión de datos

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual el transmisor y el receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Comúnmente se distingue entre dos tipos de medios: guiados y no guiados.

1.4.1. Medios guiados

Los medios guiados conducen o guían las ondas a través de un camino físico claramente delimitado por sus mismas propiedades físicas. En el caso de medios guiados es el propio medio el que determina principalmente las limitaciones de la transmisión como la velocidad de transmisión de los datos, ancho de banda que puede soportar y distancia máxima de transmisión. Como ejemplos de estos medios tenemos: el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica.

1.4.1.1. Par trenzado

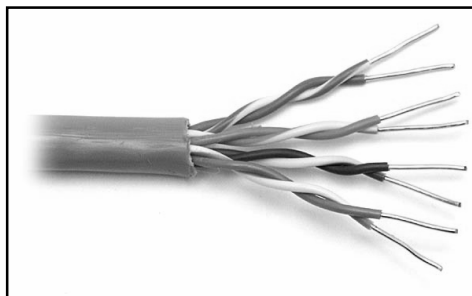
Este consiste en alambres, comúnmente de cobre, aunque a veces pueden ser de aluminio, aislados, generalmente de 1mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Los pares trenzados se agrupan bajo una cubierta común de PVC (Policloruro de Vinilo) en cables multipares de pares trenzados que pueden ser de 2, 4, 8, hasta 300 pares.

Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y de la distancia que recorre. En algunos casos pueden obtenerse transmisiones de hasta varios Megabits, en distancias de pocos kilómetros.

Debido a su adecuado comportamiento y bajo costo, los pares trenzados se utilizan ampliamente y es probable que su uso aun se extienda por muchos años más.

Debido a las ventajas que ofrece, como por ejemplo su costo, su flexibilidad, su facilidad de instalación, así como las mejoras tecnológicas constantes introducidas en enlaces de mayor velocidad y longitud.

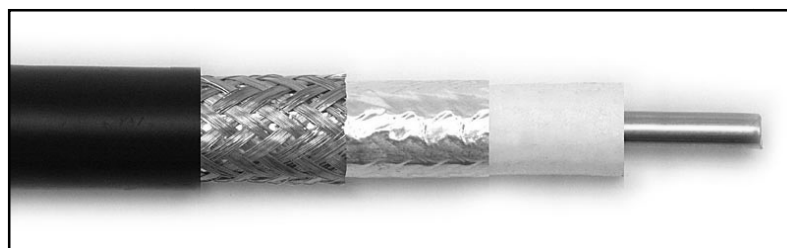
Figura 6. Cable de par trenzado



1.4.1.2. Cable coaxial

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, es decir, que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector.

Figura 7. Cable coaxial



La construcción del cable coaxial produce una buena combinación entre un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable. Es capaz de llegar a anchos de banda comprendidos entre los 80 Mhz. y los 400 Mhz. (dependiendo de su grosor). Esto quiere decir que en transmisión de señal analógica seríamos capaces de tener, aproximadamente, 10.000 circuitos de voz.

1.4.1.3. Fibra óptica

La fibra óptica es, literalmente, un delgado hilo de vidrio o silicio fundido, que gracias a las propiedades que posee, le es posible conducir la luz.

Un cable de fibra óptica consta de tres secciones concéntricas. La más interna, el núcleo, consiste en una o más hebras o fibras hechas de cristal o plástico. Cada una de ellas lleva un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior, que recubre una o más fibras, debe ser de un material opaco y resistente.

Para tener una mejor comprensión de la forma en la cual la fibra óptica transporta la luz, consideremos un cilindro hueco, cuya superficie interna está recubierta de un material cuya reflexión es alta, como un espejo.

Al momento de colocar una fuente de luz en un extremo, esta viajará a través del cilindro debido a las reflexiones constantes dentro del cilindro, hasta llegar al extremo opuesto. Si en este extremo, colocamos un transductor que responda a las variaciones de luz, nuestro resultado será un medio de transmisión de información.

Esto se logra con la fibra óptica, por supuesto, no con espejos, sino aprovechando el índice de refracción que poseen todos los materiales por naturaleza. El grado de refracción depende de las propiedades de los dos medios (en particular, de sus índices de refracción).

El índice de refracción no es más que la relación de la velocidad a la cual se propaga la luz en el material sobre la velocidad de la luz en el vacío.

$$n = \frac{c_0}{v_n}$$

Donde:

n = Índice de refracción

c_0 = Velocidad de la luz en el vacío

v_n = velocidad de la luz en el medio en cuestión

Dado que la velocidad de la luz en cualquier medio es siempre menor que en el vacío, el índice de refracción será un número siempre mayor que 1.

En el vacío: $n = 1$

En otro medio: $n > 1$

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, el rayo se refracta entre las fronteras de los medios. Este principio está descrito en la Ley de Snell:

$$n_1 * \text{Sen}\theta_1 = n_2 * \text{Sen}\theta_2$$

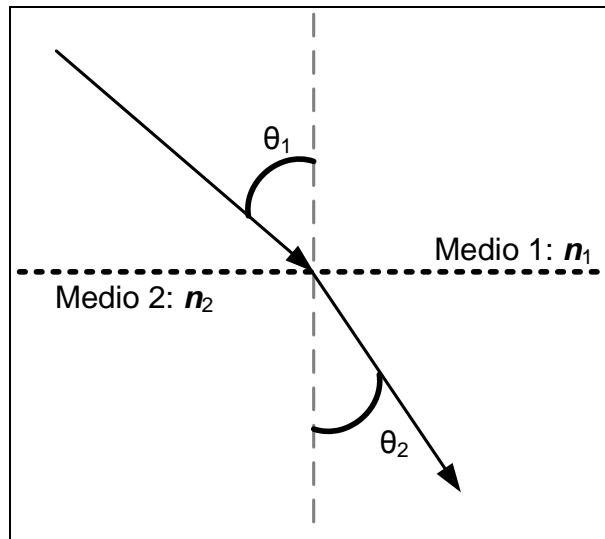
Donde:

n_1 y n_2 son los índices de refracción del medio 1 y del medio 2, respectivamente

θ_1 es el ángulo de incidencia del medio 1 con la normal

θ_2 es el ángulo de refracción del medio 2 con la normal

Figura 8. Incidencia y refracción



Un rayo de luz propagándose en un medio con índice de refracción n_1 incidiendo sobre una superficie que separa un medio de índice n_2 con $n_1 > n_2$ puede reflejarse totalmente en el interior del medio de mayor índice de refracción.

Este fenómeno se conoce como reflexión interna total y se produce para ángulos de incidencia θ_1 mayores que un valor crítico cuyo valor es:

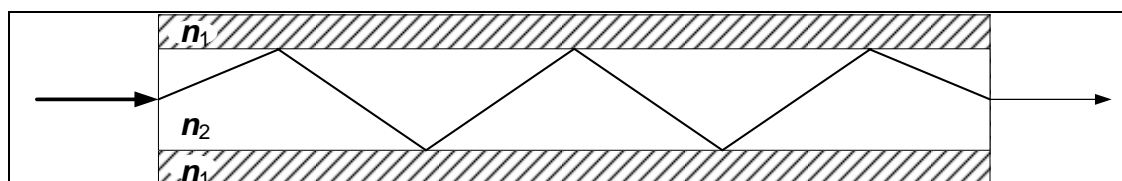
$$\text{Sen } \theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

Por lo que existe un ángulo de incidencia, que será tal, que no habrá refracción en el medio 2 sino una total reflexión hacia el medio 1. Este ángulo es llamado ángulo crítico y es aquí donde se aplica a la transmisión por medio de fibra óptica, pues utilizando los medio adecuados, con los ángulos óptimos, se lograra una reflexión total interna, como el ejemplo del cilindro con superficie interna de espejo que se utilizo para explica de manera sencilla este principio.

Para ángulos de incidencia por encima de cierto valor crítico, la luz se refracta de regreso, de esta forma el rayo queda atrapado dentro de la fibra y se puede propagar por muchos kilómetros virtualmente sin pérdidas.

En la figura 9, podemos ver la sección transversal de un cable de fibra óptica, en el cual se aprecia la forma en la cual se logra la transmisión de luz a través de ella.

Figura 9. Sección transversal, cable de fibra óptica



La fibra óptica permite la transmisión de señales luminosas y es insensible a interferencias electromagnéticas externas. Convencionalmente, un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él.

Cuando la señal supera frecuencias de 10^{10} Hz. hablamos de frecuencias ópticas. Los medios conductores metálicos son incapaces de soportar estas frecuencias tan elevadas, por lo que al utilizar fibra óptica es posible transportar información a muy altas velocidades.

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy monocromática, generalmente un láser. La fibra, en sí, encargada de transmitir la señal luminosa y un fotodiodo que reconstruye la señal eléctrica.

La fibra óptica se puede utilizar en cualquier tipo de red, siempre y cuando se cuente con el equipo necesario.

1.4.2. Medios no guiados

Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío.

La naturaleza del medio en conjunto con la de la señal que se transmite, a través de él, constituyen los factores determinantes de las características y la calidad de la transmisión.

Al utilizar medios no guiados para transmisión de datos resultan críticos factores como la distancia y la frecuencia utilizada para la transmisión de datos.

1.4.2.1. Radio transmisión (Microondas)

A las frecuencias que se encuentran comprendidas entre 300 Mhz. y 300 Ghz. se les llama microondas. Claro, existen subdivisiones, pero en general este es el ancho de banda dentro del espectro electromagnético donde se ubican las frecuencias llamadas microondas.

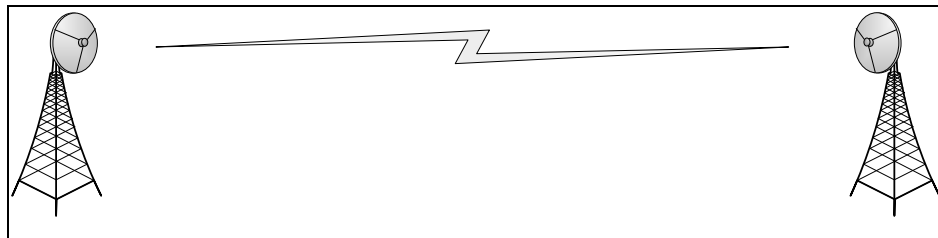
En un sistema de microondas se usa el espacio aéreo como medio físico de transmisión. La información se transmite a través de ondas de radio de muy corta longitud.

Las estaciones de microondas generalmente consisten en una antena tipo plato y un sistema que comunica a la antena con la terminal del usuario.

Para la comunicación de microondas terrestres se utilizan antenas parabólicas, que son muy direccionales, las cuales deben estar correctamente alineadas y tener visión directa, técnicamente llamada línea vista, entre ellas, para lograr una comunicación efectiva.

Dependiendo de la antena se puede lograr comunicar múltiples canales a múltiples estaciones dentro de un enlace dado, o pueden establecer enlaces punto a punto o punto a multipunto.

Figura 10. Enlace de microonda



Cuando se utilizan las microondas como medio de transmisión de datos, la distancia entre los enlaces se convierte en un factor muy importante debido a la atenuación inherente al alcance de los enlaces. Otro factor a tomar en cuenta son las condiciones atmosféricas, debido a que el medio de transmisión en sí en este tipo de enlaces es el aire.

A pesar de los inconvenientes que en algún momento pueda llegar a presentar un enlace de microondas, su utilidad y flexibilidad para poder interconectar dos puntos son ventajas importantes a tomar en cuenta, ya que con que exista línea vista podemos decir que puede existir un enlace de microondas.

1.4.2.2. Transmisión por infrarrojo

Un rayo infrarrojo posee una longitud de onda menor que las microondas y mayor que la luz visible. El hecho de que la longitud de onda de los rayos infrarrojos sea tan pequeña (850-900 nm), hace que no pueda propagarse de la misma forma en que lo hacen las señales de radio. Los enlaces infrarrojos se encuentran limitados por el espacio y los obstáculos físicos. Debido a esto, las aplicaciones de las redes infrarrojas están dirigidas a corto alcance, como oficinas y para comunicar a corta distancia los ordenadores con sus periféricos.

Algunas empresas, van un poco más allá, transmitiendo datos de un edificio a otro mediante la colocación de antenas en las ventanas de cada edificio. Para los propósitos del presente trabajo, la transmisión por medio de infrarrojos no es de interés.

1.5. Topología de redes

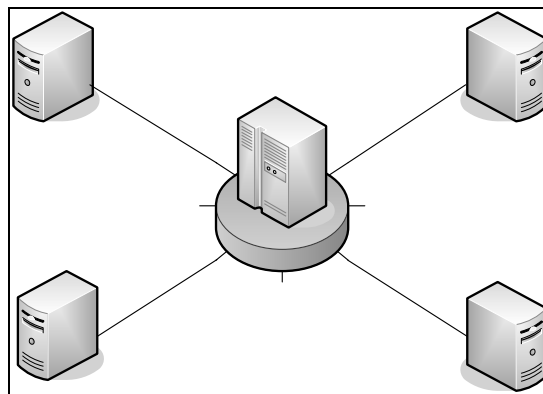
Topología de red se refiere a la configuración física, eléctrica y/o lógica en la cual están cada uno de los elementos que componen la red. El nivel físico y eléctrico se puede entender como la configuración del cableado entre máquinas o dispositivos de control o conmutación. En la configuración lógica es respecto a como se trata la información dentro de la red, como se dirige de un sitio a otro o como la recoge cada estación.

1.5.1. Topología en estrella.

Todos los elementos de la red se encuentran conectados directamente mediante un enlace punto a punto a un servidor o nodo central de la red, quien se encarga de gestionar las transmisiones de información por toda la estrella. Todas las tramas de información que circulen por la red deben pasar por el nodo principal, con lo cual un fallo en él nodo central provocará la caída de todo el sistema.

Por otra parte, un fallo en un determinado cable sólo afecta al nodo asociado a él. Si bien, esta topología obliga a disponer de un cable propio para cada nodo terminal adicional de la red, este tipo de topología es aplicable cuando todos los nodos deben estar conectados a un sitio en común o nodo terminal central.

Figura 11. Topología en estrella



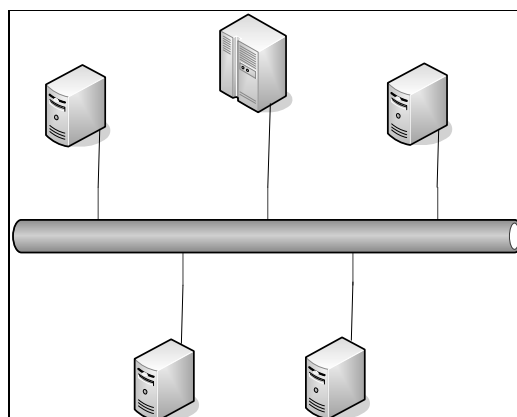
1.5.2. Topología en bus

En esta topología, los elementos que constituyen la red se disponen linealmente, es decir, en serie y conectados por medio de un cable el cual toma el nombre de bus. Las tramas de información emitidas por un nodo, ya sea terminal o principal, se propagan por todo el bus, alcanzando a todos los demás nodos. Cada nodo de la red se debe encargar de reconocer la información que recorre el bus, para así determinar cuál es la que le corresponde a él.

Este es el tipo de instalación más sencillo y un fallo en un nodo no provoca la caída del sistema de la red, aunque, por otra parte, una ruptura del bus es difícil de localizar y provoca la inutilidad de parte o de todo el sistema.

El bus es la parte básica para la construcción de redes Ethernet y generalmente consiste de algunos segmentos de bus unidos ya sea por razones geográficas, administrativas u otras.

Figura 12. Topología en bus



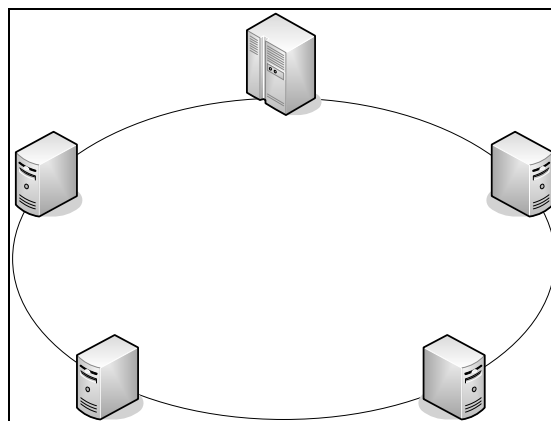
1.5.3. Topología en anillo

Los nodos de la red se disponen en un anillo cerrado, conectados entre ellos mediante enlaces punto a punto. La información describe una trayectoria cerrada circular y el nodo principal es quien gestiona conflictos entre nodos al evitar la colisión de tramas de información.

La topología de anillo está diseñada como una arquitectura circular, con cada nodo conectado directamente a otros dos nodos. Toda la información de la red pasa a través de cada nodo hasta que es tomado por el nodo apropiado.

El anillo es fácilmente expandido para conectar más nodos, aunque en este proceso puede que se interrumpa la operación de la red mientras se instala el nuevo nodo.

Figura 13. Topología en anillo



2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO PDH

2.1. Historia de PDH

Luego de la introducción de la tecnología PCM alrededor de 1960, las redes análogas fueron cambiando de forma gradual a la tecnología digital. El crecimiento continuo de demanda por mayor ancho de banda contribuyó al surgimiento de una jerarquía de multiplexación denominada Jerarquía Digital Plesiócrona, conocida como PDH de sus siglas en inglés (Plesiochronous Digital Hierarchy).

El término plesiócrono se deriva del griego plesio, cercano, y chronos, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están casi, pero no completamente sincronizadas. La jerarquía de multiplexación PDH, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal.

Las principales ventajas de la utilización de la Jerarquía Digital Plesiócrona en la transmisión fueron:

- Mayor cantidad de datos transmitidos.
- Equipo con un costo menor, esto debido a que la tecnología digital es relativamente más barata.
- Incremento de la calidad en la transmisión.

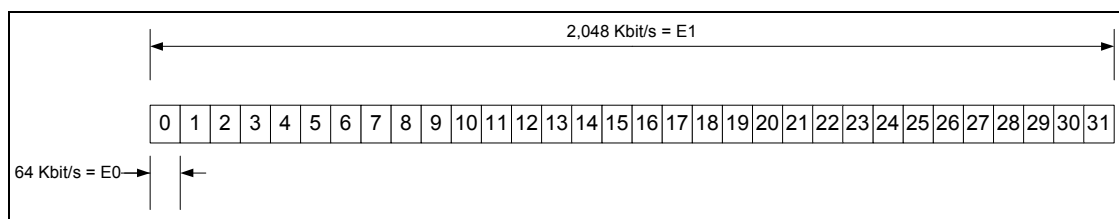
La Jerarquía Digital Plesiócrona, PDH, utilizada en redes de telecomunicación para transportar grandes cantidades de información mediante equipos digitales de transmisión que funcionan sobre fibra óptica, cable coaxial o enlaces con microondas.

2.2. Protocolo PDH

En el protocolo PDH la velocidad básica de transferencia de información, o primer nivel jerárquico, es un flujo de datos de 2,048 Kbit/s, generalmente conocido de forma abreviada como “2 megas”, y también nombrado como E1.

Este flujo se divide en 32 canales de 64 Kbps, más conocido como 64K y nombrado como E0, los cuales pueden usarse completamente en la transmisión de datos.

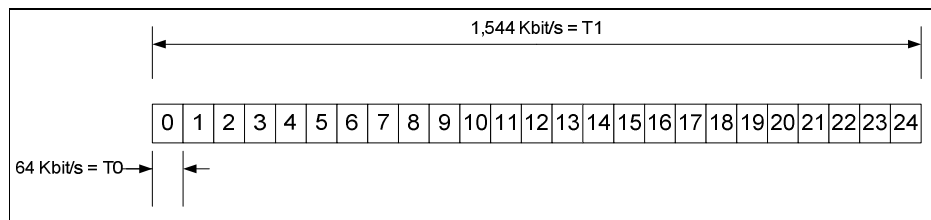
Figura 14. Niveles jerárquicos básicos PDH



En el caso particular de transmisiones de voz, este flujo se divide en 30 canales de 64K más otros 2 canales de 64 Kbps utilizados para señalización y sincronización.

Esta velocidad primaria se utiliza en todo el mundo, solo Estados Unidos, Canadá y Japón emplean como velocidad primaria un flujo de datos de 1,544 Kbit/s, ya que agrupan 24 canales de 64 Kbps, y cada canal es nombrado como T0.

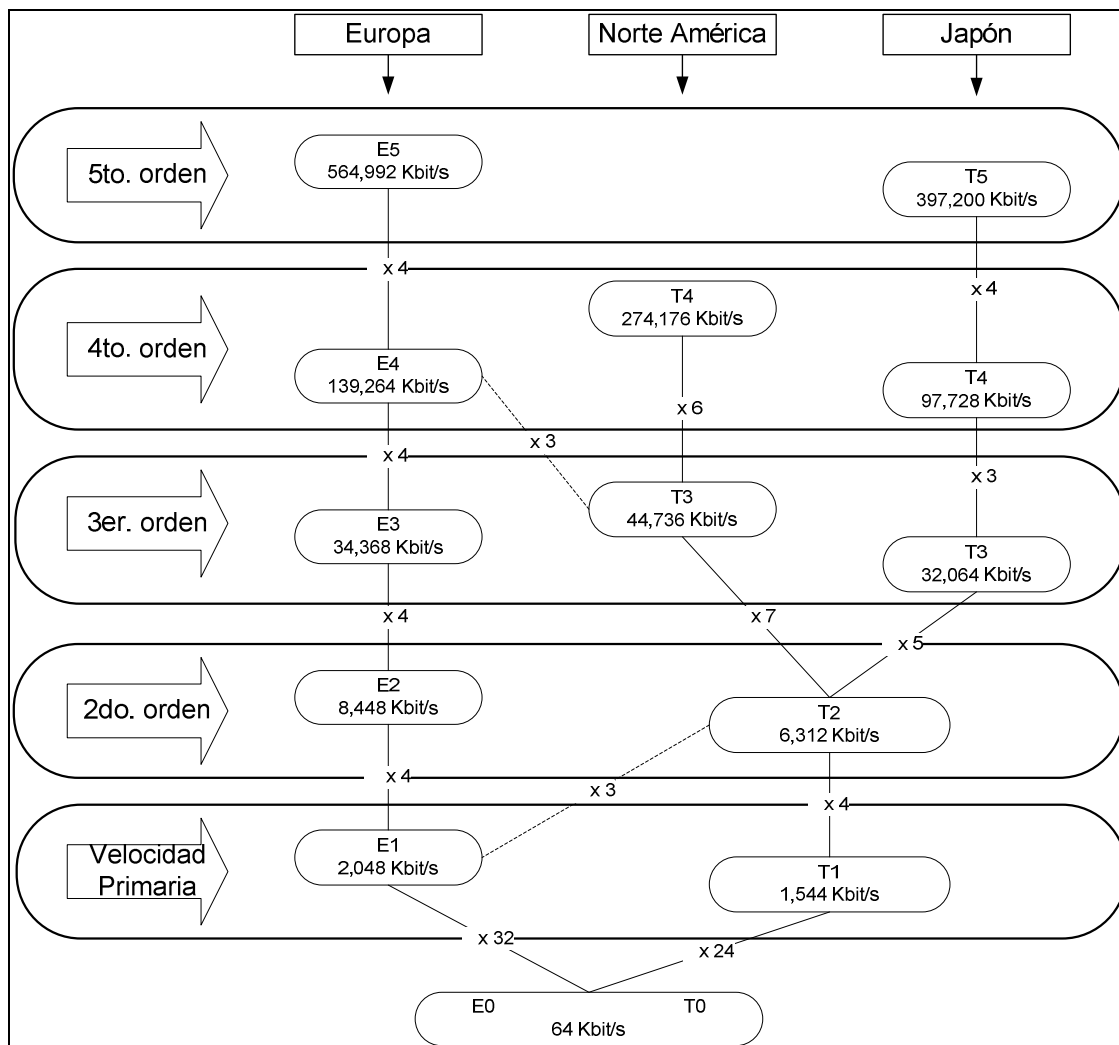
Figura 15. Niveles jerárquicos básicos PDH. Estados Unidos, Canadá y Japón



Este ancho de banda es nombrado como T1.

En la figura 16 se pueden observar las distintas velocidades PDH y su respectivo nivel jerárquico por región.

Figura 16. Velocidades y niveles jerárquicos PDH por región



Las distintas versiones, americana (Estados Unidos y Canadá), japonesa y europea de sistemas PDH, difieren ligeramente en sus detalles de trabajo, pero los principios de funcionamiento son los mismos, por lo que a partir de este punto se hace referencia solo la versión europea, que es la utilizada actualmente en Guatemala.

2.3. Descripción de la trama PDH

En PDH la velocidad primaria, el flujo de datos 2 megas, es controlado por un reloj en el equipo que la genera. A esta velocidad se le permite una variación, alrededor de la velocidad exacta de 2,048 Mbps, con una incerteza de +/- 50 partes por millón. Esto significa que dos flujos diferentes de 2 megas pueden estar funcionando a velocidades ligeramente diferentes uno de otro, y lo más probable es que lo estén, pero no más allá de la incerteza mencionada.

Dichas diferencias de temporización de las señales obligan al empleo de técnicas de adaptación para formar señales multiplexadas. La inserción o extracción de un canal de 64 kbit/s en o desde una jerarquía digital superior requiere de un proceso complejo de multiplexación, además, para poder transportar varios flujos de 2 megas de un lugar a otro, se utiliza la multiplexación por división de tiempo TDM.

Es muy importante mencionar que en el caso del protocolo PDH, el multiplexor además añade bits adicionales a fin de permitir al demultiplexor del extremo distante decodificar qué bits pertenecen a cada flujo multiplexado y así reconstruir los flujos originales.

Los bits adicionales son los de justificación y de alineación o palabra de alineamiento de trama, que no es más que una combinación fija de unos y ceros, que se transmite cada vez que se completa un ciclo del proceso de transmisión en cualquier orden de la multiplexación.

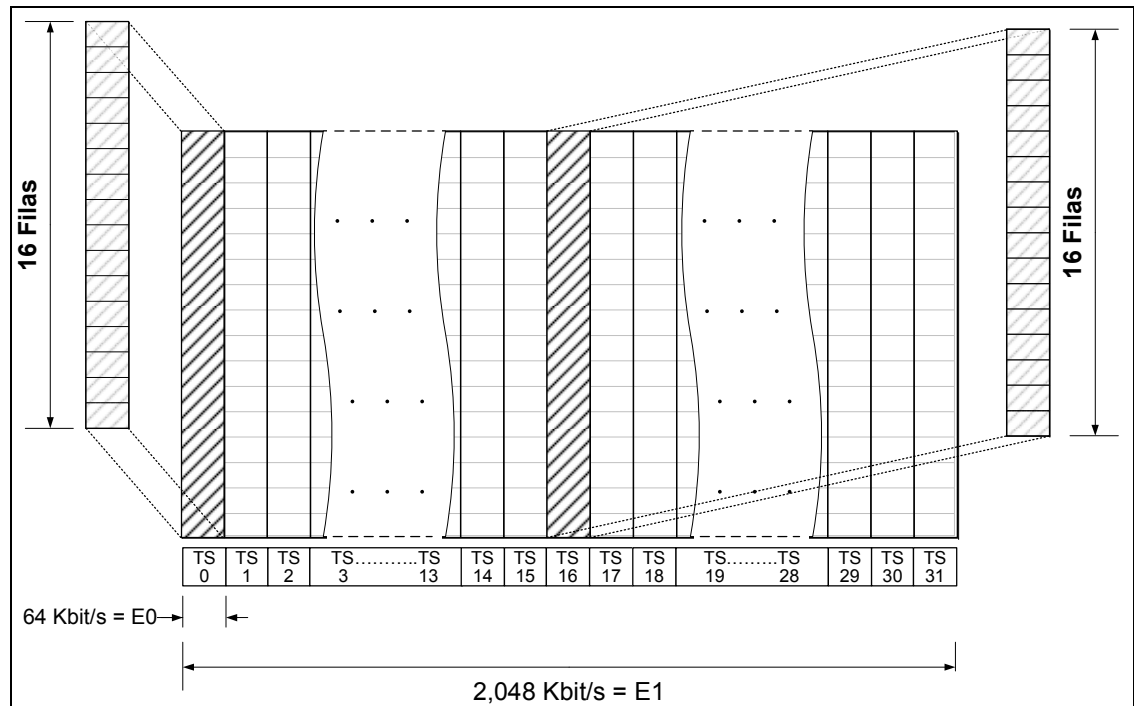
La organización temporal de los canales digitales se realiza mediante la Multitrama MFR (MultiFrame) consistente en 16 Tramas FR (Frame) numeradas desde fila 0 a 15.

Cada trama tiene 32 columnas o Intervalos de Tiempo TS (Time Slot), numerados de 0 a 31. Cada intervalo de tiempo lleva un Octeto o Byte de un canal de 64 Kb/s.

En lo que respecta a los tiempos la trama tiene una duración de 125 μ seg, correspondiente al período de muestreo de una señal telefónica (8 Khz).

Cada uno de los 32 intervalos de tiempo dura entonces 3,9 μ seg y cada bit tiene una duración de 488 nseg. Una multitrama ocupa un tiempo de 2 mseg.

Figura 17. Multitrama PDH

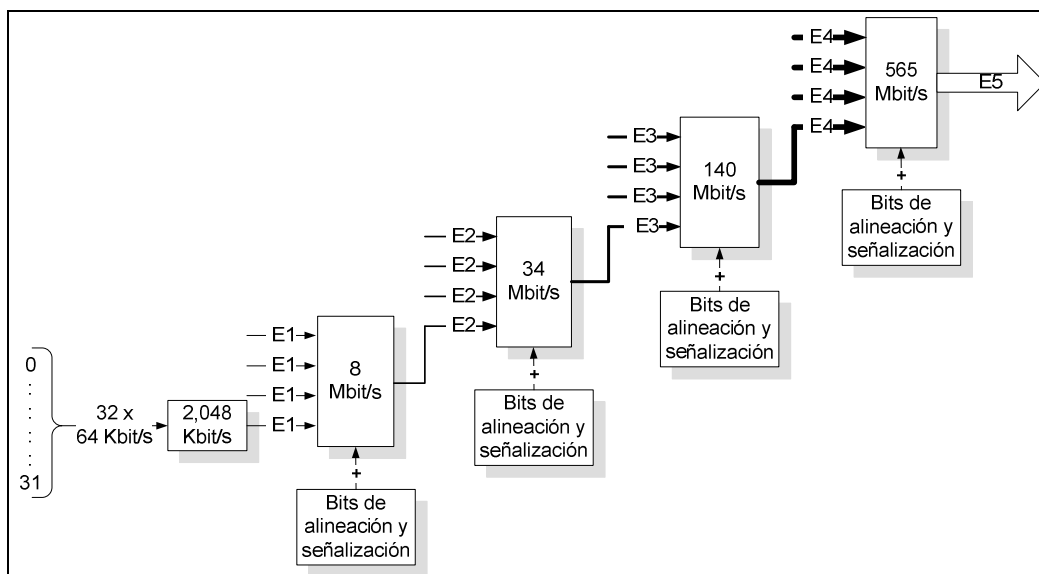


El intervalo de tiempo TS:0 se utiliza para enviar el alineamiento de trama e información de supervisión del enlace. El intervalo de tiempo TS:16 se usa para Señalización Asociada al Canal. Los intervalos TS:1 a TS:15 y TS:17 a TS:31 llevan los canales de telefonía digital o datos a 64 Kb/s.

El conjunto de 32 canales (intervalos de tiempo) de 64 Kb/s constituyen los 2048 Kb/s. La necesidad de los bits de justificación o relleno es debido a que cada uno de los flujos no está funcionando necesariamente a la misma velocidad que los demás, por lo que es necesario hacer algunas compensaciones.

Para ello, el multiplexor asume que los cuatro flujos están trabajando a la máxima velocidad permitida, lo que conlleva que, a menos que realmente esté sucediendo esto, en algún momento el multiplexor buscará el próximo bit, pero este no llegará, por ser la velocidad del flujo inferior a la máxima. En este caso el multiplexor señalará, mediante los bits de alineación, al demultiplexor que faltan bits, los que será compensado por los bits de justificación. Esto permite al demultiplexor reconstruir correctamente los flujos originales y a sus velocidades plesiócronas correctas.

Figura 18. Jerarquía de multiplexación PDH



La figura 18 muestra la forma en la cual se puede llegar desde velocidades de 64 Kbit/s hasta niveles jerárquicos superiores de hasta 565 Mbit/s, lo cual como se puede observar conlleva varias etapas de multiplexación. El procedimiento de demultiplexación es exactamente el mismo pero lógicamente en orden inverso.

En el caso del nivel de 565 Mbit/s, es necesario aclarar que su estructura y proceso de multiplexación, al contrario de lo que sucede con los niveles precedentes, no ha sido normalizado por los organismos de normalización especializados UIT y CEPT, por lo que los flujos generados por los equipos de un fabricante pueden ser, y de hecho lo son, incompatibles con los de otro fabricante, lo que obliga a que el enlace completo de 565 Mbps esté constituido con terminales del mismo fabricante.

La velocidad de 565 Mbps es la típica de los sistemas de transmisión por fibra óptica, aunque en el pasado se ha utilizado, con escaso éxito, por sus estrictos requerimientos, sobre cables coaxiales.

Los equipos PDH están siendo actualmente reemplazados por equipos de tecnología SDH en la mayoría de las redes de telecomunicación debido a las mayores capacidades de transmisión de estos y a sus mejores condiciones para la operación y mantenimiento centralizado.

2.4. Topología de redes PDH

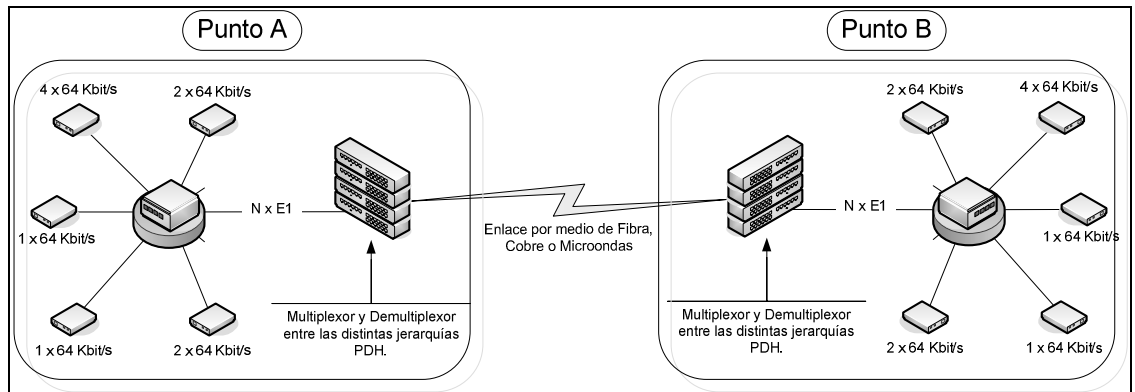
En esencia, la topología utilizada en PDH es la de punto a punto. Una de las estrategias utilizadas para la optimización en la recolección de tráfico PDH ha sido concentrar tráfico de datos de ancho de banda relativamente pequeño en un punto para luego transportar esta mayor cantidad de datos por enlaces PDH de mayor jerarquía.

Con esto se logra evitar crear muchos enlaces punto a punto de datos PDH de jerarquías bajas y en su lugar crear pocos enlaces punto a punto de datos PDH de jerarquías altas.

En la figura 19, se grafica lo dicho anteriormente. Varios equipos o clientes que tienen enlaces de datos de $n \times E0$, los cuales llegan a un equipo concentrador o recolector de tráfico, describiendo una topología de red en estrella.

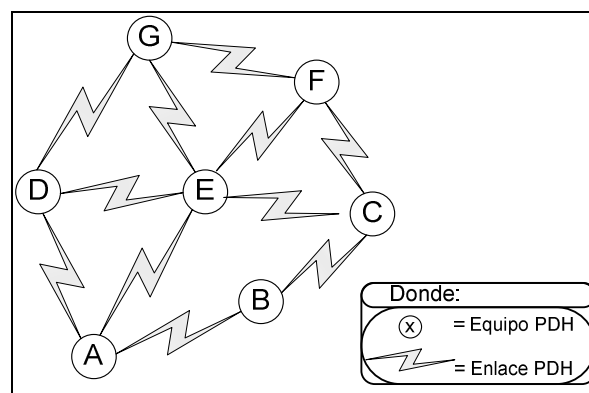
Este equipo se conecta a niveles jerárquicos PDH bajos hacia multiplexores y demultiplexores que permiten el acceso a niveles jerárquicos de mayor orden PDH. Luego se crea la interconexión entre los equipos PDH a una jerarquía mayor, lo cual describe una topología de red punto a punto entre A y B.

Figura 19. Ejemplo topología red PDH



Al interconectar varios puntos de acceso, de la misma forma como los puntos A y B de la figura 19, se puede ir creando una red PDH de múltiples puntos interconectados entre sí. De esta forma se puede conectar clientes desde un punto A hasta un punto G, como se puede ver en el ejemplo de la figura 20.

Figura 20. Ejemplo red PDH



Es necesario aclarar que los puntos mostrados en la figura 20 son puntos de acceso y no equipos, por lo que cada punto de acceso mostrado puede llegar a estar formado por una cantidad de equipos proporcional a la cantidad de interconexiones hacia otros puntos.

Al crear una red basada en PDH, en donde se quiere que su continuo crecimiento sea óptimo y eficiente, es necesaria una planificación que tome en cuenta varios puntos importantes, que principalmente, vienen a estar determinados por la geografía y el movimiento comercial del lugar.

No sería inteligente colocar equipo de gran capacidad o ancho de banda, si en el lugar a colocar no hay más que unos cuantos clientes potenciales y el crecimiento comercial, en el sector cercano al punto donde se ubicará el equipo, es por demás lento o incluso nulo. O por el contrario, colocar un equipo de baja capacidad en un lugar donde se proyecta un crecimiento con una pendiente positiva.

2.5. Gestión en redes PDH

Cuando hablamos de gestión nos referimos a la supervisión de las redes. Es de suma importancia el poseer supervisión adecuada de la red. De nada me serviría tener una red con la mayor de las coberturas, si al momento de que exista algún fallo dentro de ella no puedo saber en qué parte de la red fue y la gravedad del problema, no digamos saber que de hecho si ocurrió algún fallo en la red.

Debido a esto es que se han creado redes para las redes, por paradójico que se puede escuchar es cierto. Hay redes de gestión para las redes de comunicación, cuyo fin es el poder supervisar en todo momento cualquier evento que pueda ocurrir, como función principal.

En las redes PDH han existido distintos tipos de gestión. Conforme la tecnología ha avanzado, también lo ha hecho la red de gestión. Las funciones específicas de la gestión son: Transmitir el estado de las alarmas en tiempo real, efectuar controles a distancia, realizar medidas a distancia, evaluar la calidad del enlace.

2.6. Protección en redes PDH

Los tipos y maneras de protección en redes en general son de múltiples índoles, aunque el fin es primordial y único: Permitir un servicio continuo y libre de errores sin importar los inconvenientes o interrupciones que se puedan presentar.

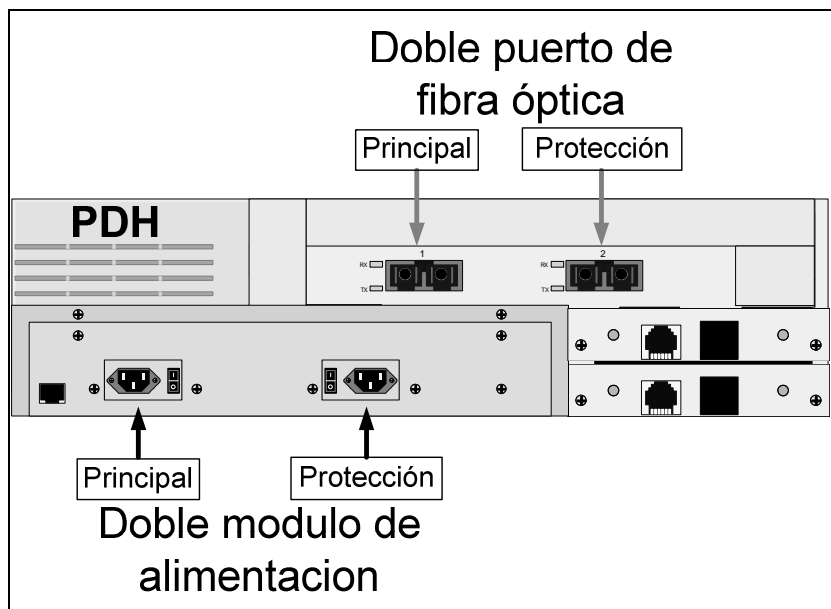
Claro está que ningún sistema podrá garantizar en un 100% su disponibilidad, pero se busca llegar a esto tanto como sea posible. En esta búsqueda entra un factor muy importante en la rentabilidad de la red, el costo.

Existen varios tipos de clasificación para las protecciones en redes, pero en el presente trabajo se clasificarán de la siguiente forma:

- **Protección de Equipo:** Es el tipo de protección cuyo fin es el de proporcionar seguridad extra en caso de presentarse desperfectos en el equipo que esta proveyendo trafico activo. Entre desperfectos de equipo podemos enumerar el de falla de energía eléctrica. Para esto se puede colocar una segunda fuente de energía al equipo, la cual actuaría al momento de fallar la principal. También podemos mencionar la falla de alguna interfaz o puerto dentro del equipo, para lo cual, puede colocarse protección de igual manera que con la fuente de energía.

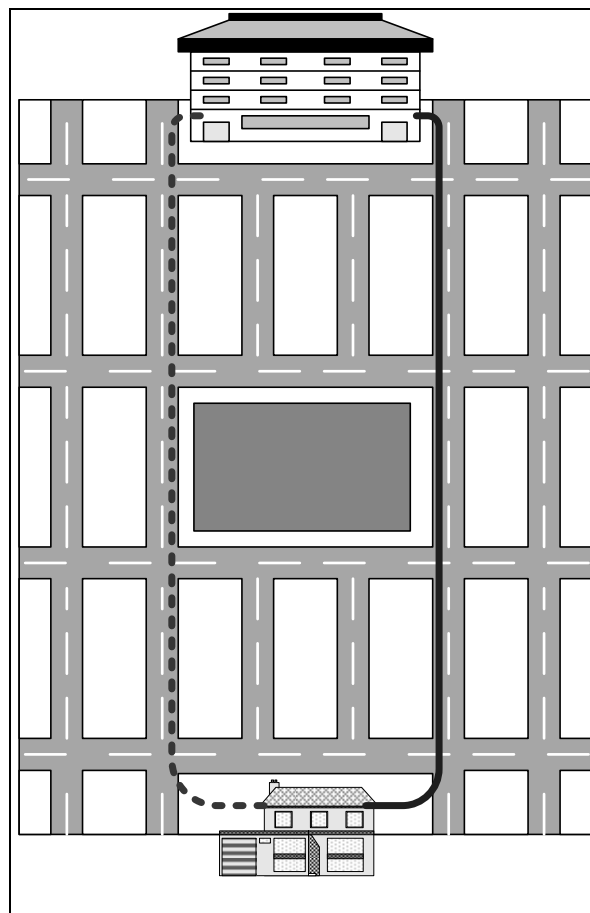
Como protección de equipo, como se puede observar en la figura 21, podemos contar con doble modulo de alimentación de energía y/o doble puerto de fibra óptica.

Figura 21. Protección de equipo – PDH



- Protección de ruta: Una red no sería red sino se conectaran equipos entre distintos puntos, ya sea en una oficina, entre distintos edificios, entre distintas áreas, países, y hasta continentes. La protección de ruta protegerá el flujo continuo de datos a pesar de que hubiera alguna interrupción en la ruta física establecida entre equipos. Esto significa que proporcionará una o más rutas físicas alternas al flujo de datos para asegurar que estos lleguen a su destino.

Figura 22. Protección de ruta – PDH



La protección de ruta en PDH se realiza protegiendo una ruta activa o de trabajo por otra en espera de uso o de protección. Si hubiera algún problema por la ruta de trabajo, la ruta de protección entra a sustituirla inmediatamente obteniendo como resultado una pérdida mínima de datos entre los puntos protegidos. En la figura 22 se observa cómo se tienen dos rutas físicas distintas para el transporte de datos entre dos puntos, la de la derecha de trabajo y la de la izquierda de protección.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO SDH

3.1. Historia SDH

La inserción o extracción de un canal de 64 Kbit/s en o desde una jerarquía digital PDH de orden superior, requiere, como se observó en el capítulo anterior, una buena cantidad de multiplexores y demultiplexores, que además de ser un procedimiento complejo, también requiere de un costo determinado por cada multiplexor y demultiplexor utilizado entre las distintas velocidades PDH.

Con el tiempo, la demanda de mayor ancho de banda fue creciendo, por lo que los distintos fabricantes de equipo desarrollaron equipos de mayor capacidad de ancho de banda, aunque esto significó una degeneración en el protocolo PDH, pues a velocidades más allá de las normadas, cada fabricante decidía y disponía acerca de la forma a comunicarse entre equipos, lo que resultó en problemas al interconectar equipos de distinto fabricante, por que los enlaces de anchos de banda mayores debían estar hechos con equipos de la misma marca.

Esto no fue tanto problema en redes privadas de cada empresa particular, el problema se daba en la interconexión de redes de dichas empresas, cosa que no se podía evitar dado el fin de las telecomunicaciones, el de simplemente comunicar.

La solución fue entonces volver a demultiplexar a velocidades de jerarquía PDH de orden menor para poder interconectarse sin ningún problema. Esto funcionó por algún tiempo, pero a medida que continuaba la demanda de mayores anchos de banda, comenzó a ser impráctico y problemático, pues las salas de transmisión debían llenarse de equipos solo para poder interconectar a velocidades normadas PDH. El lento avance y las discrepancias entre fabricantes en el normar velocidades PDH de mayor velocidad hicieron necesario, evidente y urgente la estandarización.

En 1985, Bellcore, la división de investigación y desarrollo de la compañía operativa regional de Bell, en inglés Regional Bell Operating Companies (RBCO) empezó a trabajar en un estándar llamado Red Óptica Síncrona o SONET de sus siglas en inglés Synchronous Optical Net. Más tarde, el CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) se unió al esfuerzo, lo que dio como resultado que en 1989 se produjera un estándar SONET y un conjunto de recomendaciones paralelas del CCITT (G.707, G.708 y G.709).

A las recomendaciones del CCITT se les llamó Jerarquía Digital Síncrona o SDH por sus siglas en inglés Synchronous Digital Hierarchy. Uno de los objetivos de la jerarquía digital síncrona fue eliminar las desventajas presentadas inherentes al sistema PDH.

Al momento en que se creó SONET, la portadora digital de mayor velocidad que se usaba ampliamente en norte América era la T3, a 44,736 Kbit/s. La T4 ya se había definido, pero no se utilizaba mucho, y todavía no se había definido nada por encima de la velocidad de T4.

El diseño de SONET/SDH tuvo cuatro objetivos principales:

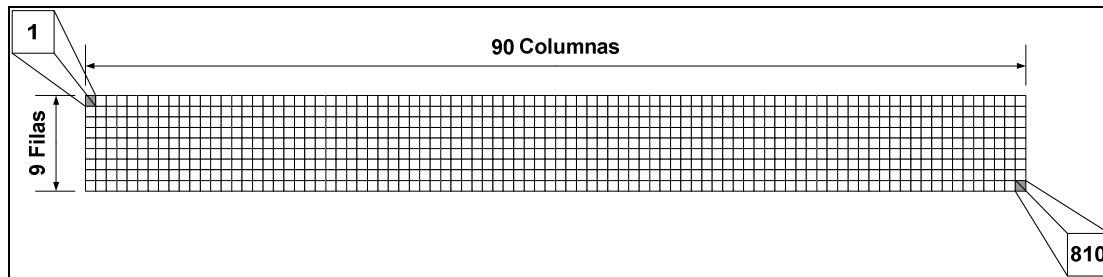
- a. La correcta interconexión entre distintos operadores. Esto requirió que se definiera un estándar de señalización con respecto a la longitud de onda, la temporización, la estructura del tramado, etc.
- b. Unificar los sistemas digitales europeo, norte americano y japonés, los cuales utilizaban como base el canal de 64 Kbit/s pero combinados en diferente forma lo que los hacía incompatible.
- c. Proporcionar un mecanismo para multiplexar varios canales digitales.
- d. Proporcionar apoyo y mejoras para las operaciones de administración y mantenimiento.

3.2. Protocolo SDH

Para describir de manera correcta el protocolo SDH es necesario la descripción en parte de SONET.

La trama básica de SONET es un bloque de 810 bytes que se emite cada 125 microsegundos, lo que se puede describir mejor como un rectángulo de bytes de 90 columnas de ancho por 9 filas de alto. Esto se puede apreciar en la figura 23.

Figura 23. Trama básica SONET



La tasa de datos bruta para esta trama es de:

$$\frac{810 \times 8 \text{ bits}}{125 \times 10^{-6} \text{ segundos}} = 51,840,000 \text{ bit/s} = 51.840 \text{ Mbit/s} \text{ o } 51.840 \text{ Mbps}$$

Este canal básico SONET se le dio el nombre de Señal Síncrona de Transporte 1 o STS-1 de sus siglas en inglés Synchronous Transport Signal. Todas las demás tasas de multiplexación SONET son múltiplos de STS-1.

La portadora óptica correspondiente a STS-n se llama OC-n de sus siglas en inglés Optical Carrier que significa portadora óptica, lo cual es lo mismo excepto por cierto reordenamiento de bits necesario para la sincronización.

Los nombres SDH son diferentes y empiezan en el equivalente SONET OC-3. En SDH la trama básica es el STM-1 de sus siglas en inglés Synchronous Transport Module que significa Módulo de Transporte Síncrono. Las tramas de mayor velocidad SDH son múltiplos del STM-1.

En la tabla I se puede observar las distintas tasas de multiplexación SONET/SDH.

Tabla I. Tasas de multiplexación SONET/SDH

Sonet		SDH	Tasa de Datos (Mbps)
Eléctrica	Óptica		
STS-1	OC-1	-----	51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	STM-3	466.56
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	STM-6	933.12
STS-24	OC-24	STM-8	1,244.16
STS-36	OC-36	STM-12	1,866.24
STS-48	OC-48	STM-16	2,488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9,953.28

La portadora OC-9 está presente porque se aproxima mucho a la velocidad PDH T5 utilizada en Japón. OC-18 y OC-36 se utilizan en Japón.

3.3. Descripción de la trama SDH

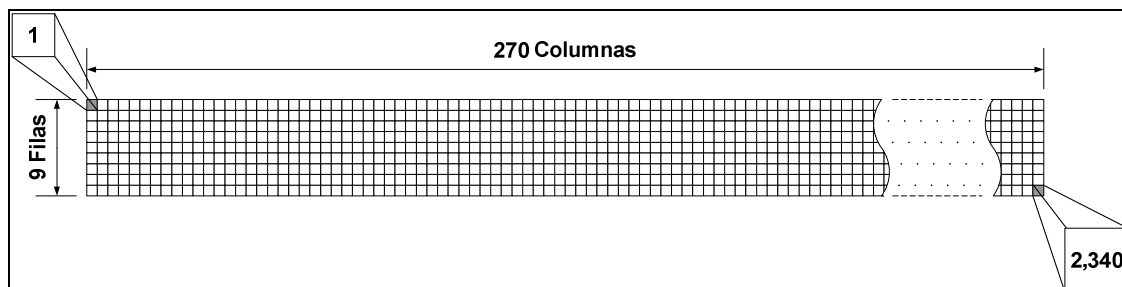
La trama básica de la jerarquía digital síncrona es el STM-1. Todos los niveles jerárquicos SDH con múltiplos de esta trama, por lo que se describirá esta trama de forma general dado que la trama a niveles superiores o tienen cambios significativos.

La trama básica se puede describir como un bloque de bytes de 9 filas por 270 columnas que es igual a 2,430 bytes, como se puede observar en la figura 24. Esta trama es repetida cada 125 microsegundos.

La tasa de datos bruta para la trama SDH STM-1 es de:

$$\frac{2,430 \times 8 \text{ bits}}{125 \times 10^{-6} \text{ segundos}} = 155,520,000 \text{ bit/s} = 155.52 \text{ Mbit/s} \text{ o } 155.52 \text{ Mbps}$$

Figura 24. Trama básica SDH, STM-1



El área de cabecera de sección es utilizada esencialmente para administración y gestión de la trama. Se utiliza principalmente para la comunicación entre equipos adyacentes, enganche y sincronización de trama, canales de usuario para comunicación, indicadores de estatus de sincronía, gestión y conmutación automática de protección. Esta área tiene un total de 72 bytes asignados dentro de la trama SDH.

El área de la Unidad Administrativa está compuesta por 9 bytes. La función de esta área es la justificar y apuntar la posición del primer byte del área de transporte de la trama STM-1. Esto se realiza colocando dentro de los bytes que conforman esta área información de alineamiento, de relleno, de justificación y de complemento.

3.4. Topología de redes SDH

La topología a utilizar en redes SDH dependerá de la cantidad y tipo de datos a transportar. Con SDH se posee versatilidad para colocar los equipos en topología tipo anillo, estrella, árbol o punto a punto. Regularmente la topología de anillo se utiliza para proveer protección a los servicios prestados lo cual es muy valioso en enlaces con altos anchos de banda. Es común colocar equipos en topología de anillo con equipo distribuido por zonas de alta concentración de datos, logrando así reducir el riesgo de la pérdida total de los mismos, protección obtenida debido a las características propias de este tipo de topología y a la capacidad de los equipos basados en SDH de manejar en este tipo de topología.

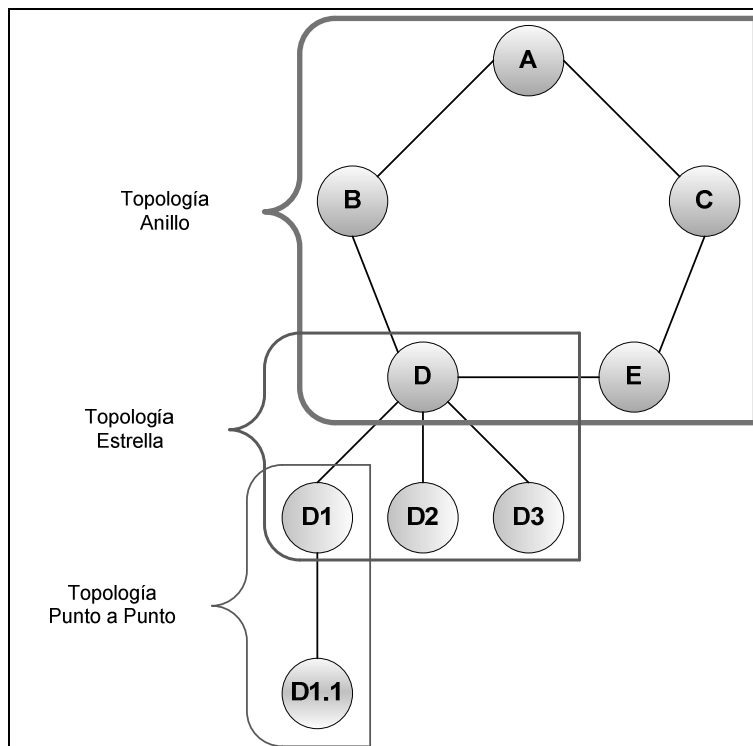
Con equipos SDH se pueden colocar varios equipos en anillo, e incluso poder aumentar el tamaño del mismo con un mínimo riesgo de interrupción total del servicio en los otros equipos que conforman el anillo.

Los equipos SDH pueden colocarse, sin problema, en redes con topologías de estrella, ya que es posible que en un mismo equipo tenga conexiones de distintos niveles jerárquicos al mismo tiempo, sin necesidad de acoplar los anchos de banda con equipo extra, una de las mejoras importantes de SDH sobre PDH, cosa que le presta una gran versatilidad a la red, sin olvidar el ahorro en equipo, espacio y accesorios por el lado físico y confiabilidad, mejor control y mejor detección de fallas por el lado lógico.

De esta forma, teniendo equipos SDH, se puede recolectar, interconectar y transportar datos entre diversos puntos con un mínimo de conexiones físicas por servicio.

En la figura 26 se pueden observar una red típica SDH y como se combinan los distintos tipos de topologías sobre una misma red. De esta forma es posible conectar servicios entre cualquiera de los elementos de red interconectados sin utilización de equipo extra.

Figura 26. Ejemplo topologías de red SDH



3.5. Gestión en redes SDH

La gestión para redes SDH cuenta con mejoras importantes, respecto de las redes PDH, como la velocidad de comunicación o el aumento de la capacidad en operaciones remotas, por ejemplo. Dependiendo del fabricante existen variaciones en los sistemas de gestión para redes SDH pero dentro de una red de gestión SDH se encuentran dos áreas importantes: Gestión de Equipos o Elementos de Red NE (Network Element) y Centro de Gestión TMN (Telecommunication Management Network).

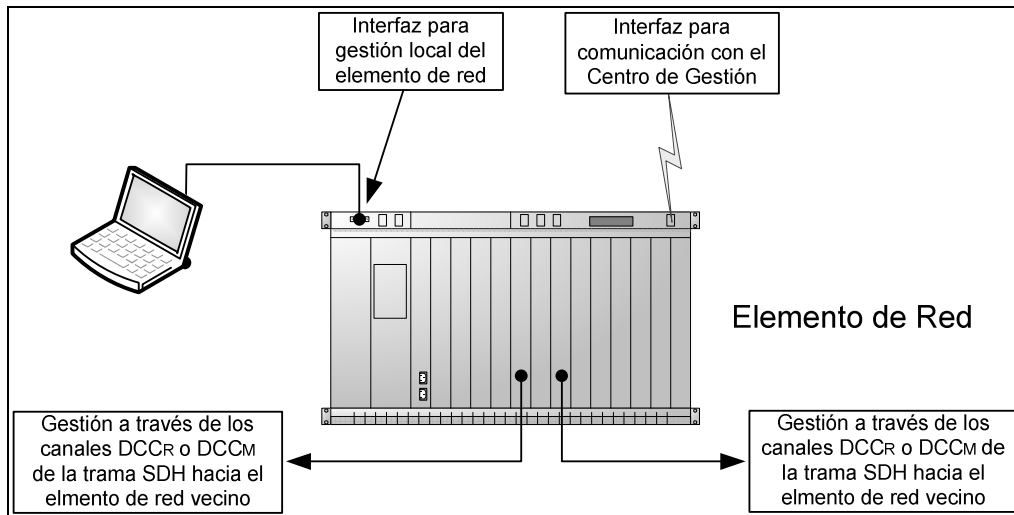
Gestión de elementos de red: Se le llama elemento de red al equipo SDH multiplexor o crossconector. Cada elemento de red posee una interfaz que admite la conexión de una PC, por medio de la cual se tiene acceso al sistema de control del equipo, teniendo la oportunidad de realizar a través de estas distintas operaciones de configuración, control y revisión de varios parámetros del equipo.

Estos parámetros van desde el monitoreo de la energía de alimentación del equipo, hasta configuraciones de distintos parámetros del funcionamiento del equipo dentro de la red SDH.

Cada elemento de red SDH también posee dos canales de comunicación ubicados dentro de la trama SDH, uno en el área de regeneración y otro en el área de Multiplexación. Estos canales son llamados DCC de sus siglas en inglés Data Communication Channel. El canal ubicado en el área de regeneración DCCR está conformado por 3 bytes (192 Kb/s) y el canal ubicado en el área de Multiplexación DCCM por 9 bytes (576 Kb/s).

Cada elemento de red posee también otra interfaz por medio de la cual hay comunicación constante, normalmente vía LAN, hacia el Centro de Gestión.

Figura 27. Gestión de elementos de red

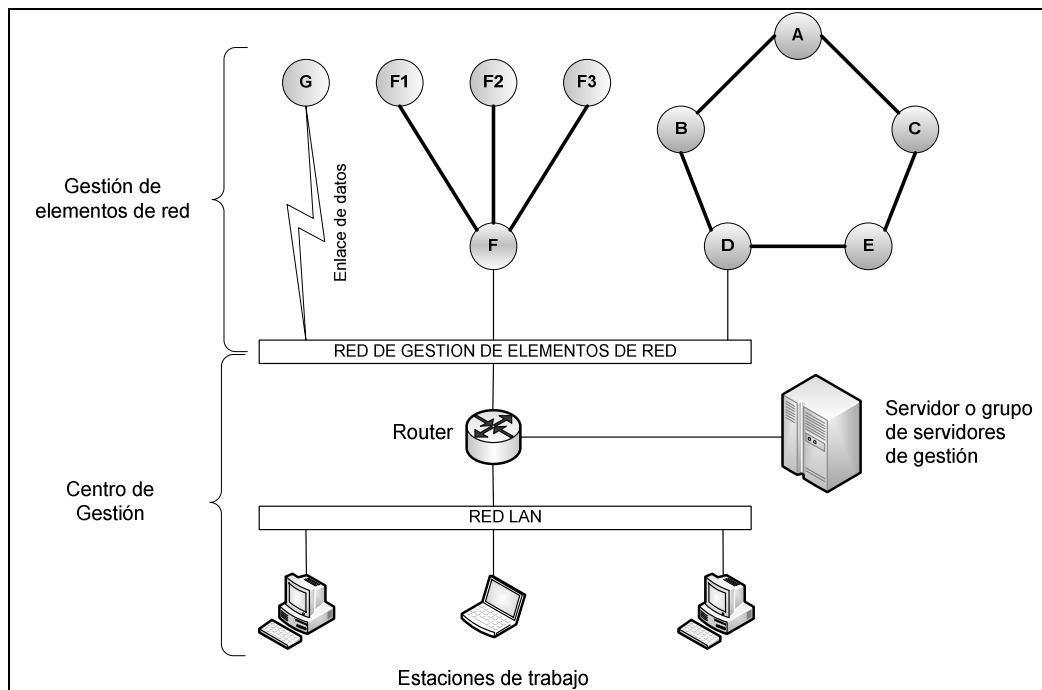


3.5.1. Centro de gestión

El centro de gestión está compuesto por uno a más servidores que poseen la administración, en una sola aplicación, de cada uno de los elementos de red. Usualmente cada fabricante ha desarrollado aplicaciones de gestión propietarias para sus distintos equipos, por lo que al tener redes con equipos SDH de distinta marca, lo más probable es que se necesitara un Centro de Gestión por cada marca utilizada.

Estos centros de gestión son el corazón de la gestión remota. Dependiendo la aplicación del fabricante, el centro de gestión tendrá capacidad para interactuar con otras PC, dando como resultado el poder tener varios puntos de acceso a la red a través del centro de gestión.

Figura 28. Gestión de elementos de red



3.6. Protección en redes SDH

SDH se ha caracterizado por la gran capacidad de datos que puede llevar. Esto significa que si existe alguna interrupción en la red, puede significar perder gran cantidad de tráfico, lo que a su vez se traduce en una red menos confiable y también en pérdida de dinero. Esto aclara la importancia de poseer una red con sistemas de protección adecuados que aseguren la continuidad del tráfico y que tenga la capacidad de restaurarlo automáticamente en caso de alguna eventualidad.

Entre las distintas clases de protección en las redes SDH está la protección de equipo y la conmutación de protección.

3.6.1. Protección de equipo

Al igual que en PDH, con la protección de equipo se busca dar protección a problemas o defectos inherentes al equipo. Uno de estos inconvenientes puede ser que el modulo que provee energía al equipo y sus distintas partes falle. Por esto es común colocar al menos dos módulos en cada equipo, cada uno con la capacidad suficiente para funcionar sin el otro.

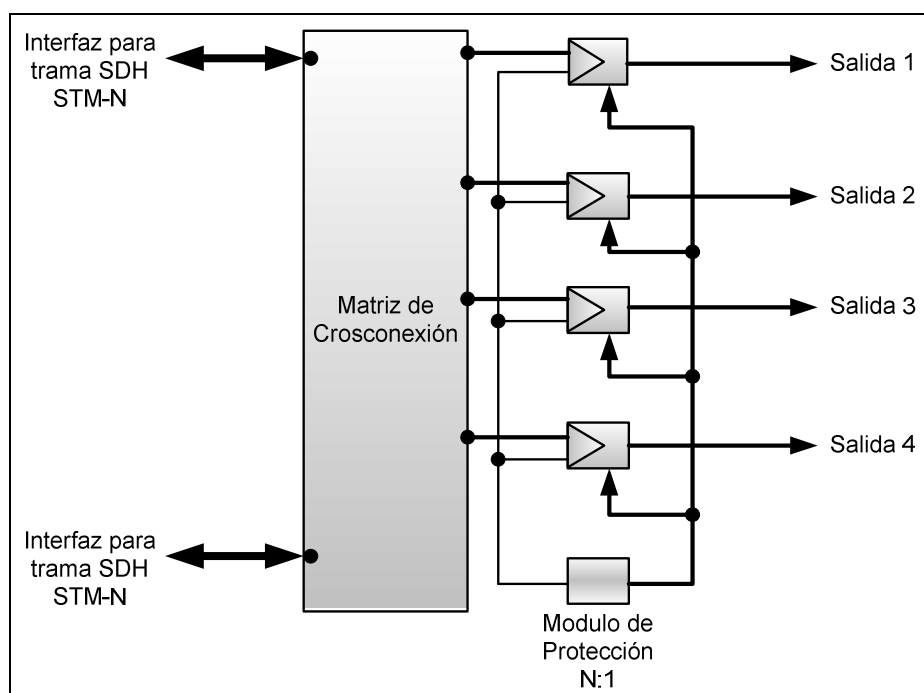
En caso de algún problema se tendrá otro modulo de energía que previene que el equipo se apague por completo. Al fallar algún modulo se tendrá aviso por medio de las alarmas del equipo, con lo cual se podrá reemplazar el modulo afectado.

También se puede colocar protección de interfaz o puerto para entrega de servicios, colocando otro modulo que puede proveer protección al igual que con la energía. Como una mezcla de la protección de equipo y la conmutación de protección se tiene la protección N:1. Esta se aplica generalmente a proteger módulos que transporten tráfico de datos.

En la figura 29 se puede observar de forma representativa cómo funciona la protección N:1. Esta protección se basa en que N módulos pueden ser protegidos por 1 modulo. De esta forma si poseo 4 módulos que llevan datos y alguno de estos falla, las funciones del modulo que fallo son automáticamente tomadas por el modulo de protección.

Este tipo de protección aparte de poseer la protección de equipo físico también lleva asociada una protección lógica.

Figura 29. Esquema funcionamiento protección N:1

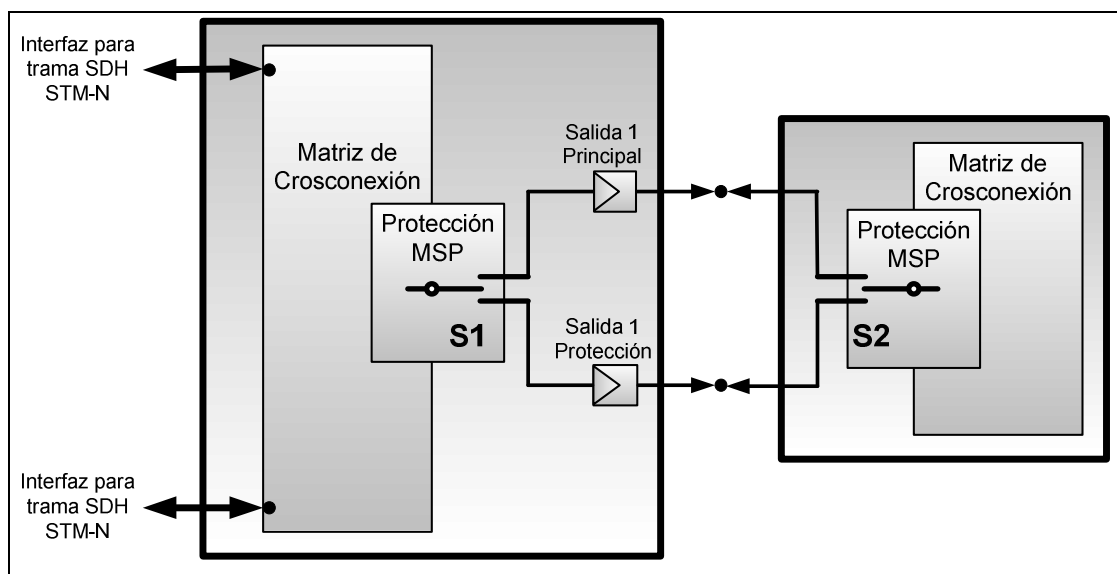


En SDH, debido a que maneja mayor información y posee mayor versatilidad, uno de los puntos importantes a proteger es la configuración actual que posee el equipo como por ejemplo: el software que utiliza el equipo, la configuración de sincronía, la configuración de la gestión, las conexiones presentes. Para esto se colocan dos módulos que contengan esta información. Estos módulos están en constante comunicación verificando si los datos almacenados en ellos son iguales. En caso que exista alguna inconsistencia se generara alarma, lo que alertara del problema presente en el equipo.

3.6.2. Conmutación de protección

Básicamente, hay dos tipos de conmutación de protección: protección de camino SDH y protección de conexión de subred SDH. La protección de camino está orientada a mantener un flujo de datos constante en cada uno de los servicios que van a través de la red, protegiendo este flujo por caminos distintos. Como protección de camino SDH está la protección MSP o Protección de Sección de Multiplexación (Multiplex Section Protection por sus siglas en inglés). Este tipo de protección se utiliza con mayor frecuencia para proteger servicios punto a punto. La conmutación en este tipo de protección va controlada por un par de bytes llamados K1 y K2, que se encuentran en la sección de Multiplexación de la trama SDH. Dependiendo de la condición de los valores de dichos bytes, así será la configuración de la protección MSP.

Figura 30. Esquema de protección MSP



En la figura 30 se observan dos elementos de red que poseen esquema de protección MSP. Se tienen dos salidas para el mismo servicio, la salida principal o activa y la salida de protección. En caso de que hubiera algún problema con la salida principal, este problema se identificara a través de los bytes K1 y K2 del área de Multiplexación, lo que hará que tanto el switch S1 como el S2 conmuten hacia la protección y así mantener el flujo continuo de datos.

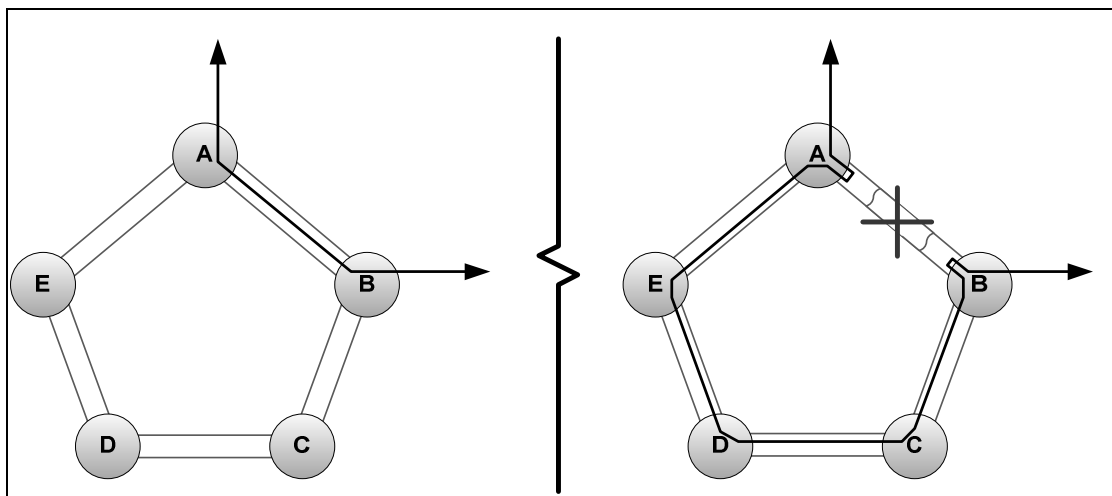
Como protección de conexión de subred se tiene la protección SNCP. En la protección de conexión de subred SNCP de sus siglas en inglés SubNetwork Connection Protection, se proveen dos rutas para el flujo de tráfico, Una ruta de trabajo, para operación normal, y otra ruta de protección, que se utilizará en caso falle la ruta de trabajo. Por ambas rutas se envía la misma señal.

Puede utilizarse para proteger una parte de un trayecto, entre dos puntos de conexión o entre un punto de conexión y un punto de conexión de terminación, o en la totalidad del trayecto de extremo a extremo entre dos puntos de conexión de terminación. Se conmuta al producirse fallos del servidor (utilizando supervisión intrínseca SNC/I) o utilizando información de capa de cliente (utilizando supervisión no intrusiva SNC/N).

La protección SNC es un esquema de protección lineal que se puede aplicar de manera individual a las señales del VC-n. No necesita utilizarse en todos los circuitos virtuales de una sección de Multiplexación.

En la figura 31 podemos observar, en forma general, la forma en que trabaja la protección SNC. El lado derecho de la figura podemos observar el camino que toma un servicio que va desde A hasta B. Del lado derecho se puede observar el camino que toma el mismo servicio al momento de que exista un problema en el enlace entre los elementos de red A-B. Debido a la protección SNC configurada, el tráfico activo entre los elementos A y B se reencamina pasando por los elementos de red E, D y C, asegurando el flujo continuo de datos a pesar de una falla en el anillo.

Figura 31. Protección SNC



Uno de los parámetros de protección importante al momento de darse una falla en equipo SDH tenemos el “Tiempo de Guarda” (en inglés HOLD-OFF TIME) tiempo que espera el equipo, luego de generarse una condición para conmutación de protección, para accionar la conmutación de protección. En algunos equipos este tiempo es configurable.

Luego de la conmutación, se puede configurar el equipo para que la protección se reversible o no reversible, otro parámetro de protección importante. Si es reversible, indica que el equipo continuamente verificara la condición de la ruta principal, para que al momento de que se restablezca de la falla, el equipo conmute de nuevo y retorne a colocar el tráfico activo sobre la ruta configurada como principal. No reversible indica que la ruta utilizada luego de la conmutación será la que se mantenga hasta que exista alguna falla sobre ella, la cual genere la conmutación hacia la otra ruta.

Una de las ventajas que proporciona el equipo SDH es la rapidez de la protección, con un tiempo menor a 50 ms., tiempo con el que, dependiendo la aplicación utilizada, no se notara la conmutación.

En la recomendación "Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona" UIT-T G.841, está definido, a detalle, las clases de protección y sus parámetros.

4. PROPUESTA DE CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA EXTENSIÓN DE REDES DE DATOS

4.1. Concepto de interconexión (Crossconnection)

Interconexión, conocida también por su nombre en inglés como Crossconnection, por Cross=Cruzar y Connection=Conexión “cruzar conexión”.

El concepto de interconexión es de suma importancia en el transporte correcto de datos a través de redes de transporte de datos. Desde el momento en el cual los datos son conectados a algún equipo de transmisión, estos ya cuentan con alguna identificación la cual servirá para la ubicación de estos.

Esta identificación es dada por el sitio o espacio físico donde se recolectan los datos, por el equipo en el cual se reciben, por el puerto donde se encuentra la conexión física, por alguna etiqueta lógica que puedan llevar los datos, etc., etc.

Dentro de estas múltiples opciones que existen para ubicar los datos, es donde se encuentra el concepto de crosconexión, que no es más que el conjunto de todos estos elementos de identificación, colocados en forma estandarizada, ordenada y clara, que puede ser interpretada tanto por el usuario como por los equipos involucrados en el transporte de los datos.

4.2. Interconexión en PDH

Al momento de interconectar servicios en PDH es necesario tener presente existe un equipo PDH por cada nivel jerárquico, por lo que se hace necesario interconectar cada equipo físicamente. Si necesito interconectar un servicio de un nivel jerárquico de menor capacidad a través de un enlace de nivel jerárquico alto, es necesario completar las etapas necesarias de multiplexación a fin de poder colocar el servicio de interés, dentro de un enlace que transporta muchos más hacia puntos determinados por la topología de red.

En el extremo opuesto es necesario demultiplexar la misma cantidad de pasos de multiplexación, utilizados en el servicio, para poder recuperarlo en la contraparte del enlace. Si se va interconectar servicios entre el mismo nivel jerárquico se tiene que tomar en cuenta que sus capacidades sean iguales.

4.3. Interconexión en SDH

En el caso de SDH, el estándar está definido, por lo que una interconexión en cualquier equipo que maneja SDH debe de especificar de manera clara los siguientes componentes de la trama SDH: AU4, TUG3, TUG2, VC-12. Se posee la ventaja de poder interconectar servicios entre distintos niveles jerárquicos sin necesidad de utilizar varios equipos SDH, siendo esta una de las características que hacen muy flexible a SDH

Con los equipos SDH no hay acceso a velocidades de $N \times 64$ Kbps, puesto que la velocidad base utilizada en SDH es 2,048 Kbps. Como contraparte, se puede colocar un VC-12 sobre una trama STM-64, donde están colocados 4032 VC-12, sin requerir más que la instrucción lógica en software en el equipo y de la misma forma volver a recuperar los datos del mismo VC-12 en el extremo opuesto del enlace.

También es necesario, especificar la ubicación física de la interconexión en el equipo. Estos datos pueden variar según el fabricante del equipo. Por lo general a las tarjetas o unidades, las ubican por su posición física dentro del equipo, así puede ser que estén numeradas por unidad, por ranura, por capacidad o simplemente de forma arbitraria obedeciendo a un esquema completamente propio del fabricante. Lo que de ninguna manera es sujeto de cambio es la ubicación lógica dentro de la trama de SDH, debido a que SDH es un estándar y no importa que se interconecten equipos de distinta marca, el protocolo debe respetarse por todos los fabricantes, por lo que la comunicación debería funcionar, siempre y cuando las capacidades y características de los enlaces sean las mismas.

4.4. Interconectando SDH con PDH

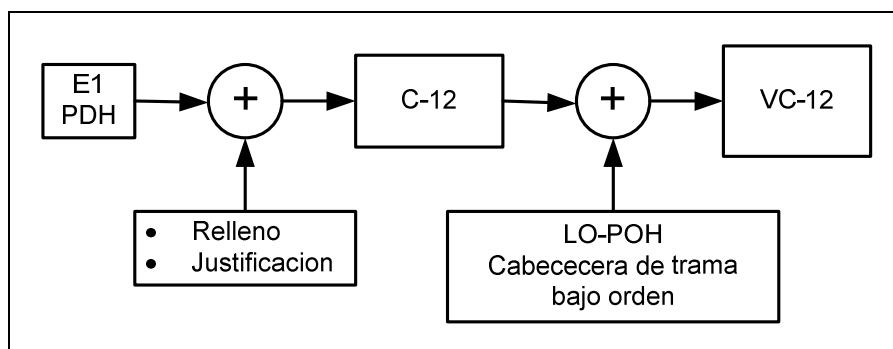
Un contenedor es el elemento básico de una señal SDH. Se forma por los bits de información de una señal PDH la cual será empaquetada dentro del contenedor. Existen diferentes tipos de contenedores, cada uno de los cuales corresponde con una señal PDH de diferente tasa de transmisión. Cada contenedor tiene algún tipo de control sobre la información asociada a él.

Esta información, llamada cabecera de ruta (Path Overhead) es generada en el elemento de red originario de la ruta y es terminada en el elemento de red final del camino. La información permite etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red e identificarla para propósitos de protecciones y monitorización de cuentas de errores.

Al momento de crear el contenedor también se le agregan bits de relleno y de justificación a los datos PDH a empaquetar en la trama SDH. Luego se toma el contenedor para formar un Contenedor Virtual o VC (Virtual Container), el cual se refiere al conjunto de un contenedor y a su cabecera de ruta asociada.

Utilizando como analogía una tubería, el contenedor virtual puede ser visto como el paquete de tráfico PDH el cual es portado a través de la tubería SDH.

Figura 32. Formación de contenedor virtual VC-12 SDH

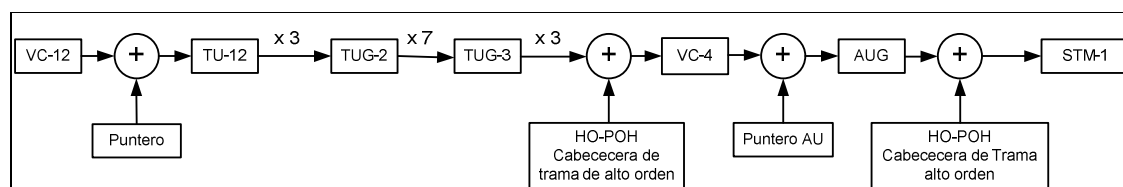


En la trama de SDH se puede ubicar de forma exacta un contenedor virtual contenido en el área de carga útil y puede ser identificado por cada uno de los elementos de red asociados. De esta forma cada elemento de red puede acceder directamente a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga siendo una gran ventaja frente a las montañas de multiplexores que aparecían en las redes PDH.

Hay diferentes tipos de contenedores virtuales. Un VC-12 es construido de un contenedor C-12, el cual contiene una señal PDH de 2 Mb/s. Un VC-3 porta un contenedor C-3 que contiene una señal PDH de 34 Mb/s. y un VC-4 porta una señal PDH de 140 Mb/s. En un contenedor C-4. Un contenedor virtual puede contener otros contenedores virtuales.

De esta forma una señal STM-1 puede ser constituida de diferentes modos. Los VC-4 que formarán la carga útil de la estructura STM-1 pueden contener una señal PDH de 140 Mb/s, tres señales PDH de 34 Mb/s, sesenta y tres señales PDH de 2 Mb/s o combinaciones de ellas, de modo que la capacidad total no sea excedida. Esto simplifica el transporte y gestión de estas señales a través de la red.

Figura 33. Trama SDH STM-1 con 63 E1's PDH



En la figura 33 se muestra como está constituida una trama SDH STM-1 por 63 E1's (3 x 7 x 3).

4.5. Criterios importantes en el uso de PDH

La capacidad de transporte es un punto importante en el uso de PDH. Recordemos que para poder transportar una señal de 2 Mb/s a través de un enlace alta capacidad, necesitamos multiplexar y demultiplexar varias veces, lo cual significa tener el equipo necesario para hacerlo, los factores lógicos necesarios (red de gestión, capacidad de transporte, compatibilidad de equipos) y los factores físicos que esto conlleva (Equipo, energía, aire acondicionado, espacio físico).

Otro punto, que es muy parecido al de capacidad de transporte, es la proyección de crecimiento, que se tiene, en determinado sector o región.

Al momento de que se demande una mayor capacidad de transporte de datos, será necesario ampliar la red existente o construir otra red, que no es lo óptimo.

Esto implicaría que al momento de querer ampliar la capacidad de la red de datos se deban hacer cálculos técnicos y económicos, no solo en equipo, sino también en la habilitación o creación de una nueva ruta de medio de transmisión (Fibra Óptica, Cobre o Microondas) para la nueva red, lo que implica gastos adicionales significativos.

En el caso de solamente ampliar una red existente se necesita comprar, ya sea tarjetas para equipos existentes, o en su defecto equipos nuevos. Cualquiera que sea el caso, al ampliar o construir una red PDH, se debe hacer un análisis de las condiciones físicas en donde se instalar el equipo.

También es necesario considerar la red de gestión. Esta me ayudará para diagnosticar fallas o problemas en la red, así como también hacer algunas pruebas básicas remotas.

La protección es otro de los puntos importantes, pues dependiendo el tipo de protección se mejora la disponibilidad de la red, aunque es necesario realizar un análisis, pues dependiendo la importancia de los datos a trasportar, así será también la disponibilidad a buscar, pues la protección, cualquiera que sea el tipo a colocar, no es gratis.

Por ejemplo en un banco, donde se realizan transacciones que solicitan y dan información a cada momento a una central de servidores, es muy importante que el flujo de datos no sea interrumpido. En cada uno de los puntos mencionados se puede observar que va ligado el factor económico.

4.6. Criterios importantes en el uso de SDH

Los puntos a tomar en cuenta en SDH son muy parecidos a PDH, salvo por los beneficios que proporciona el protocolo SDH.

En torno a la capacidad podemos mencionar que con un solo equipo SDH puedo transportar servicios de cualquier nivel jerárquico menor al equipo, lo que me brinda como ventaja flexibilidad sin tener que comprar varios equipos para multiplexación y demultiplexación.

En el momento de proyectar crecimiento en la red, es posible instalar equipo con el cual se pueda prever dicho crecimiento y no es solamente el colocar equipo de mayor capacidad. Puedo colocar equipo de media capacidad y al momento de necesitar más solo colocar otro equipo de la misma capacidad como parte del trayecto de la red, cosa que en PDH no podría.

Es necesario que la red de gestión sea planificada, pero se simplifica con el hecho de que puedo gestionar a través del protocolo SDH varios equipos por lo que basta que la red de gestión llegue a un elemento de red para tener la gestión de todos los elementos de red interconectados, ya sea directa o indirectamente, a través de la trama SDH.

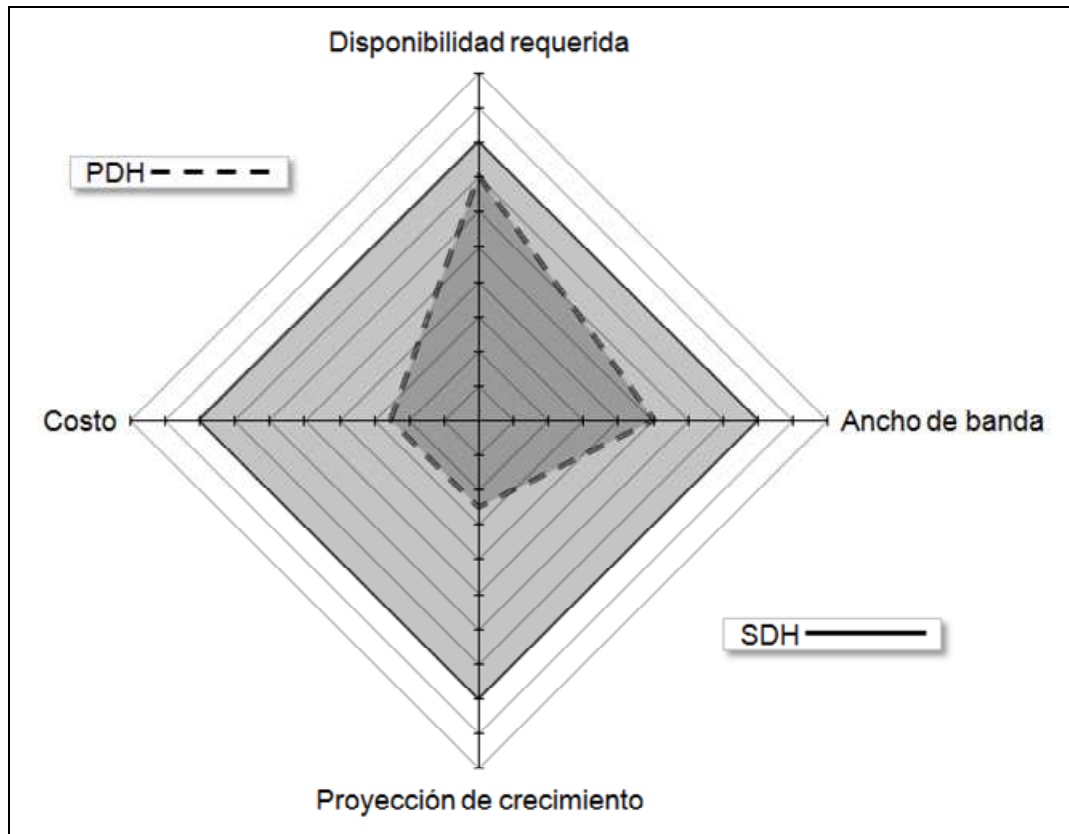
En SDH se tienen varios tipos de protección, por lo que la disponibilidad de una red SDH es alta, siempre y cuando se maneje la protección adecuadamente. Por ejemplo una red SDH colocada en anillo con protección SNCP, además de proveerme la protección, me proporciona flexibilidad para trabajos de mantenimiento con menor riesgo de corte de tráfico. O la protección MSP, que me asegura el flujo continuo de datos, con un tiempo mínimo de conmutación, en caso de que un puerto físico de algún equipo falle.

SDH es el resultado natural de una mejora sustancial de PDH, por lo que es normal pensar que el equipo ideal para cualquier enlace es SDH y que PDH definitivamente está descartado como equipo de transmisión. Pero esto no es cierto, pues dependiendo la aplicación y sus condiciones es posible colocar equipo PDH sin ningún problema, teniendo como ventaja que el equipo es de menor costo económico y que su funcionamiento es óptimo.

Por el contrario también se da el caso que debido a la complejidad de la red sea más viable colocar equipo SDH. Esto es lo que se busca ejemplificar con los casos a tratar en el capítulo 5.

En la figura 34 podemos observar un esquema que sugiere, dependiendo las características del enlace, el tipo de equipo a utilizar SDH o PDH, que puede ser una guía para tomar la decisión, al momento de evaluar casos particulares, de elegir extender redes de datos, ya sea con equipo PDH o con equipo SDH.

Figura 34. Aplicación de SDH y PDH en función de las características del enlace



5. APLICACIONES PRÁCTICAS PDH Y SDH

Para los casos a analizar a continuación se tienen en común los siguientes datos: Se debe construir un enlace entre el punto A y el punto B. La distancia entre los puntos es aproximadamente de 10 Km.

5.1. Ejemplo del caso PDH con mejor desempeño que SDH

Para este caso el servicio que se lleva a través de este enlace es de un cliente que revisa, cuando se requiere, inventario desde la sucursal B hasta la central A. Esto le sirve para confirmar existencia en bodega central, a través de una sencilla aplicación de software, a los clientes que solicitan determinado material. Otro dato es que la sucursal B se encuentra en un lugar donde no se espera crecimiento en la demanda de ancho de banda, a menos que el cliente solicitará mayor capacidad entre los puntos. El cliente necesita el enlace en horas hábiles de oficina, y como prioridad al menos dos horas durante la mañana y dos horas durante la tarde.

Se tiene un historial de poco riesgo de accidentes en la ruta donde ira el medio de transmisión.

Con estos datos se puede hacer un análisis sencillo pero efectivo en torno al tipo de tecnología a utilizar. Definitivamente, hablando de la capa de transporte a nivel lógico, SDH será siempre mejor que PDH.

Esto nos dice que equipo SDH funcionaría perfectamente en esta situación, de hecho si PDH se puede utilizar también SDH. Con SDH se tiene alta disponibilidad del enlace debido a los distintos esquemas de protección que permiten configurarse en los equipos, alta capacidad de ancho de banda y también se puede ampliar capacidad en cuanto se requiera sin instalación de otro equipo.

Pero evaluemos mejor los datos antes de dar un veredicto. El cliente solo utiliza el enlace en determinados intervalos de tiempo. Si el enlace fallará por alguna razón, el tiempo de reparación, en condiciones normales, no es elevado, debido a que el tramo en donde se buscará la falla es relativamente corto.

Además con el historial de poco riesgo de accidentes en la ruta puedo proveer que no se invertirá mucho recurso en reparación del medio de transmisión. Lo anterior me da la pauta para asignarle un valor bajo a la disponibilidad requerida por el enlace.

Por otro lado, no se espera crecimiento significativo en el área cerca de la sucursal, por lo que a largo, o en el peor de los casos mediano plazo, no se necesitará ampliar la capacidad entre los puntos, la proyección de crecimiento es baja.

Se le pueden presentar las dos propuestas al cliente en cuestión. Con SDH su enlace tendrá menor riesgo de indisponibilidad, con alta capacidad para crecimiento, casi inmediato en caso de necesitarse.

Con PDH se tendrá mayor riesgo de interrupción del enlace y capacidad limitada, lo que llevaría más tiempo de ampliación en caso de necesitarse.

Cada una de las propuestas lleva también un precio, el cual será menor con PDH, a cambio de sacrificar la disponibilidad y crecimiento. Para este cliente en particular, debido a las necesidades que presenta, la disponibilidad, crecimiento y el ancho de banda requerido no tienen un valor alto, por lo que no hay una razón significativa para gastar más por ventajas que no ha de aprovechar. Para este caso PDH es una mejor opción que SDH.

5.2. Ejemplo del caso SDH con mejor desempeño que PDH

Para este caso cambian las necesidades del cliente. Ahora se necesita una alta disponibilidad del enlace pues comunica datos entre los puntos las 24 horas del día, todos los días de la semana. Igual que el enlace anterior, este cliente tampoco crecerá a corto plazo, pero en cambio se tiene una alta proyección de crecimiento.

Este enlace se puede realizar con equipo PDH. Para satisfacer la necesidad de alta disponibilidad se puede colocar protección de equipo y protección de ruta. Hasta este punto PDH funciona muy bien.

Con SDH se tienen distintos esquemas de protección. Se puede colocar SNCP como protección de ruta y protección de equipo, muy parecido hasta el momento con PDH.

Ahora bien, existe un detalle para el cual el cliente es ajeno. Se proyecta crecimiento en el sector, lo que se traduce a mayor demanda de capacidad debido a solicitud de servicios por otros clientes potenciales.

Para este punto con PDH necesitaría colocar equipo nuevo punto a punto para recibir el tráfico, pero también conforme aumente la capacidad se necesitaría colocar más multiplexores, en función de la demanda de ancho de banda teniendo que realizar gastos no considerados al inicio de la extensión de la red.

Con SDH se puede hacer una extensión desde el equipo instalado en el cliente del punto B y solamente colocar equipo nuevo en los puntos nuevos. Se puede utilizar topología de estrella, de anillo, de árbol. La alta flexibilidad de SDH, proporciona en este caso, un extra para la situación.

En este caso, a pesar que la inversión inicial con SDH es más alta que colocando un equipo PDH, debido a la proyección de crecimiento, conviene colocar el enlace con equipo SDH, por lo que se puede decir que para este caso el equipo SDH es una mejor opción.

CONCLUSIONES

1. Utilizar equipo PDH para la extensión de redes de datos por su funcionalidad y bajo costo no asegura un mejor crecimiento técnico ni económico de la red.
2. Saber que técnicamente la tecnología SDH es mejor que PDH no significa que hacer una extensión de una red de datos con SDH sea más rentable y funcional.
3. El crecimiento y tecnología utilizada para la extensión de redes de datos basadas en SDH o PDH, en un área delimitada, la determina el análisis económico y técnico del conjunto de los factores que se involucran en la evaluación de la disponibilidad que se requerirá, el ancho de banda requerido y la proyección objetiva del crecimiento físico y lógico de la red de transmisión.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de extender una red de datos basada en tecnología SDH o PDH es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios:
2. Conocer el ancho de banda y disponibilidad requerida por el cliente, área o sector al cual se proveerá de transmisión.
3. Tener el estimado de demanda del ancho de banda inicial al momento de ampliar la red de transporte.
4. Analizar el factor de riesgo de posibles problemas en el medio de transmisión y del área de ampliación de red a fin de tener un valor de disponibilidad de la red lo más real posible.
5. Hacer una proyección objetiva del crecimiento en el área en donde se planea extender la red de transmisión de datos considerando desde la geografía del área hasta el crecimiento demográfico del sector.
6. Efectuar el análisis económico tomando en cuenta el tipo y requerimientos de los servicios, tiempo y forma de contratación de los mismos, gastos de instalación y de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARLSON, Bruce. **Sistemas de Comunicación**. México: McGraw Hill, 1980.
2. LUSTRA, Rubén y Osvaldo Tujsnaider. **Principios de Transmisión de Señales Digitales**. Hispano Americana S.A. Argentina, 1984.
3. TANENBAUM, Andrew. **Redes de Computadoras**. Pearson - Prentice Hall. México, 2003.
4. SCHULTZ, Stephan. **Manual Sistemas de Comunicaciones Síncronas**. Wandel Goltermann GmbH&Co. Alemania.
5. **Manual Optera Metro Multi-service Platform**. Nortel Networks. México: 2002.
6. **Manual 6310/6320/6340/63/50 Nodes**. Tellabs. México: 2004.
7. UIT-T: Sector de normalización de las telecomunicaciones. **Recomendación G.702: Velocidades binarias de la jerarquía digital**. Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>, 2008.

8. UIT-T: Sector de normalización de las telecomunicaciones.
Recomendación G.803: Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona. Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>, 2008.

9. UIT-T: Sector de normalización de las telecomunicaciones.
Recomendación G.841: Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona. Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>, 2008.