



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA  
EL TRANSPORTE DE DATOS DENTRO DE UNA RED DE UN SISTEMA DE  
TRANSPORTE UTILIZANDO LA TECNOLOGIA SDH PARA EL  
APROVECHAMIENTO DEL USO DE LA FIBRA OPTICA”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN COMPUTACION  
P R E S E N T A:  
ALEJANDRO RIVAS CRUZ**

**ASESOR:  
ING. ENRIQUE GARCIA GUZMAN**

**MÉXICO 2009**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo esta dedicado a mi Padre que siempre ha sido un excelente ejemplo para mi y mis hermanos y que supo educarnos, a mi Madre que siempre nos ha cuidado, desvelado y educado a nosotros, a mis hermanos que siempre me han apoyado en las buenas y en las malas, a mi Angelito por inspirarme a seguir adelante, a mis Profesores que formaron en mi el profesionista que hoy soy, a mis amigos y compañeros con quienes compartí grandes aventuras en la FES Aragón, con todo cariño para todos ustedes.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias Dios por permitir finalizar este trabajo, por tus bendiciones y por la maravillosa familia a la que pertenezco.*

*Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme el honor de pertenecer a la máxima casa de estudios, lo cual me llena de orgullo.*

*Gracias a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por ser mi segundo hogar y por permitir terminar mi carrera profesional.*

*Gracias a mi Padre José de Jesús Rivas y a mi Madre Juana Cruz por todo su amor, cariño, comprensión y sacrificios que han brindado, los amo y estoy orgulloso de ustedes.*

*Gracias a mis hermanos Antonio, Jesús, Hilario, Esteban, Gregorio, Fernando y Lucero por todo su apoyo que siempre han mostrado, por sus ejemplos y por estar siempre unidos, los amo.*

*Gracias a mi “Angelito” la Lic. Evelyn Quintal Avalos por todo su amor y apoyo incondicional, gracias por alentarme a seguir adelante superándome día a día, TE AMO.*

*Gracias a mi asesor el Ing. Enrique García Guzmán por todo su apoyo y paciencia para el desarrollo de este trabajo.*

*Gracias a mis Profesores que son su experiencia y conocimientos formaron en mí una mejor persona cada día.*

*Gracias a mis amigos y compañeros de quienes aprendí mucho y que de una forma u otra dejaron huella en mi vida.*

*Alex Rivas.*

# TEMARIO

## INTRODUCCIÓN

<b>I.</b>	<b>CONCEPTOS DE TELECOMUNICACIONES</b>	
I.1	ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN	2
I.2	MODOS DE COMUNICACIÓN	2
I.3	TIPOS DE CONEXIÓN	4
I.4	SINCRONÍA	4
I.5	REDES DE DATOS	5
I.6	TIPOS DE REDES	6
I.7	PROTOCOLOS	9
I.8	MODELOS DE COMUNICACIÓN	10
I.9	MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM)	18
I.10	CÓDIGOS DE LÍNEA	20
I.11	TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE PDH	22
I.12	LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS PDH	23
<b>II.</b>	<b>ESTRUCTURA SDH</b>	
II.1	ESTRUCTURA BÁSICA DE MULTIPLEXACIÓN	26
II.2	TIPOS DE MULTIPLEXAJE	30
II.3	EL ÁREA DE CARGA ÚTIL	33
II.4	MÓDULO DE TRANSPORTE SÍNCRONO DE ORDEN 1 (STM-1)	34
II.5	PARIDAD	38
II.6	SINCRONÍA EN SDH	41
<b>III.</b>	<b>APUNTADORES Y ENCABEZADOS</b>	
III.1	APUNTADORES	46
III.2	INTERPRETACIÓN DE APUNTADORES	47
III.3	ESTRUCTURA DE ALGUNOS APUNTADORES	50
III.4	ENCABEZADO GLOBAL	52
III.5	ENCABEZADO DE SECCIÓN SOH	54
III.6	ENTIDADES DE ENCABEZADO	57
<b>IV.</b>	<b>REDES SDH</b>	
IV.1	COMPONENTES DE LA RED	61
IV.2	TOPOLOGÍAS PARA REDES SDH	63
IV.3	ESPECIFICACIONES DE SDH	64
IV.4	PROTECCIÓN Y GESTIÓN	65
IV.5	TMN EN SDH	74
<b>V.</b>	<b>APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE UNA RED EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE</b>	
V.1	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	77
V.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	81
V.3	ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA	84
V.4	ESPECIFICACIONES DE LOS MULTIPLEXORES Y ACCESORIOS	91
V.5	MANTENIMIENTO	97
	CONCLUSIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	101

## INTRODUCCIÓN

A través de los años la tecnología ha ido creciendo constantemente, se desarrollan nuevas tecnologías que van reemplazando las que existen y siempre con el objetivo de mejorar el desempeño y la funcionalidad para ir cubriendo las necesidades de las de quien las utilice.

Hoy en día las redes de transporte de información tienen la capacidad de integrar el envío de datos, voz y video en tiempo real, lo cual lleva consigo que el sector empresarial y el académico se involucren en su utilización y en su desarrollo para obtener el máximo provecho de ellas.

Actualmente existen varias tecnologías que integran la capacidad de envío de datos, voz y video, pero su desempeño depende en mucho del ancho de banda con el cual se trabaje, es por tal razón que ha existido una evolución constante en el desarrollo por aumentar el ancho de banda, además, entre otros aspectos importantes que se han considerado para estas tecnologías son la sincronía, la estabilidad, la detección y corrección de errores, que determinan si la aplicación es una buena opción.

Existen diversas tecnologías en el mercado actual, pero en la que se enfoca nuestra atención es en la tecnología SDH o Jerarquía Digital Síncrona, esta tecnología es una solución flexible que permite trabajar con grandes tráfico de datos, además es estable por el tipo de topología que utiliza.

SDH es una tecnología que permite el transporte eficiente de la información así como la administración de los canales de comunicación que se utilizan en fibra óptica, obtiene un gran provecho del ancho de banda, asegura una gran calidad en el servicio, soporta aplicaciones con cualquier tamaño de ancho de banda; otra de las ventajas, es que SDH define las tramas y niveles de jerarquía para todas las tasas de transmisión superiores, esto permite que pueda crecer el ancho de banda sin tener que modificar la red que se este utilizando.

La tecnología SDH tiene gran ventaja en comparación con las otras tecnologías, ya que esta define todos los elementos necesarios para el transporte en la primer capa del modelo OSI, es decir, define las interfaces ópticas, la multiplexación, la sincronización, esquemas de protección y parte de la gestión.

La Jerarquía Digital Síncrona una vez instalada dentro de una estructura, nos proporciona enlaces a diferentes velocidades, de esta manera se establecen niveles, su función es la de trabajar con señales digitales de manera síncrona por intercalado de.

Debido a las grandes ventajas que ofrece SDH se determina que es una aplicación óptima para aprovechar al máximo el ancho de banda dentro de cualquier tipo de empresa donde se requiere que la información este disponible y puede ser accesada de forma rápida.

Dentro de cualquier ámbito donde se implemente una red, llámese una escuela, un banco, un hospital, etc., es muy importante que la comunicación entre sus diferentes departamentos sea eficaz, SDH permite que esto sea posible y asegura que la información llegue a su destino de manera correcta y confiable, además después de que se implementa una red con esta tecnología, no únicamente tendrá comunicación interna sino que tendrá la posibilidad de conectarse o extenderse a otras instituciones, esto dependiendo de las necesidades de la organización; es decir, que si se implementa una red en una empresa, tendrá la posibilidad de tener un enlace; utilizando la misma estructura, con otra institución.

# **CAPÍTULO I**

## **“CONCEPTOS DE TELECOMUNICACIONES”**

## I.1 ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN

Dentro de la comunicación existen tres elementos esenciales para que ésta exista, los elementos necesarios para éste proceso son: el emisor, el medio y el receptor.

Cualquier sistema de comunicación pasa información desde un origen o fuente a un destino por medio de un canal.<sup>1</sup>

El proceso de comunicación es bidireccional, tanto el emisor como el receptor están involucrados, el emisor es el que inicia este proceso al construir un mensaje y enviarlo al receptor, éste a su vez analiza la información, reconstruye el mensaje, lo cual le servirá para interpretar la información y responder convirtiéndose en emisor.

Estos tres elementos se pueden describir de la siguiente forma:

*Emisor:* quien envía la información,

*Receptor:* quien la recibe,

*Medio:* el canal por donde se transmite la información.

La información en el medio de transmisión, y en los equipos emisor y receptor, puede ser de dos tipos analógica o digital como se ilustran en la figura I.1:

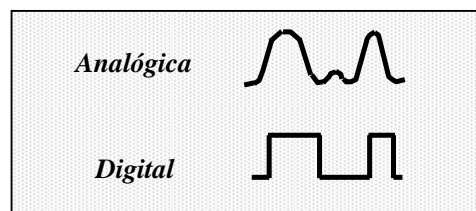


Figura I.1 Tipos de información

## I.2 MODOS DE COMUNICACIÓN

Los modos de comunicación dependen de su clasificación, ya que pueden ser de forma asíncrona o del tipo síncrona.

Sincronismo es un procedimiento mediante el cual el emisor y el receptor se ponen de acuerdo sobre el instante en el que comienza o acaba la información que se ha puesto en el medio de transmisión empleado, cuando se produce un error se producirá una imposibilidad de interpretar la información. Una transmisión es asíncrona cuando el proceso de sincronismo entre el emisor y el receptor se establece en cada palabra de código transmitido, esto es de 8 en 8 bits.

<sup>1</sup> Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Roy Blake, pág. 3.



*Comunicación Simplex*

En este tipo de comunicación, la información se transmite en una sola dirección, los hilos de datos están dedicados a la transmisión en un solo sentido, aquí están definidas perfectamente las funciones del emisor y el receptor y la transmisión de datos siempre se efectúa en una dirección: emisor-receptor. En la figura I.2 se ilustra este tipo de comunicación.

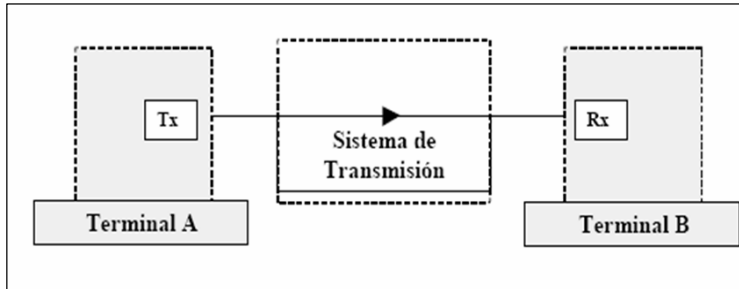


Figura I.2 Comunicación Simplex

*Comunicación Half Duplex*

En este tipo de comunicación el medio de transmisión se utiliza para transmitir en los dos sentidos pero no de forma simultánea. La comunicación es bidireccional, emisor y receptor intercambian sus papeles, sin embargo como ya se mencionó la transmisión no es de forma simultánea, cada uno debe esperar a que el otro termine de enviar para que el otro comience. En la figura I.3 se muestra la comunicación Half Duplex.

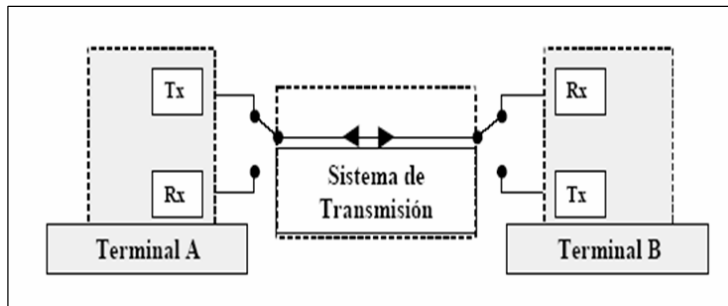


Figura I.3 Comunicación Half Duplex

*Comunicación Full-Duplex*

Cuando se utiliza la comunicación Full Duplex, la transmisión es bidireccional y simultánea, es decir, ambos pueden transmitir y recibir al mismo tiempo. En la figura I.4 se ilustra este tipo de comunicación.

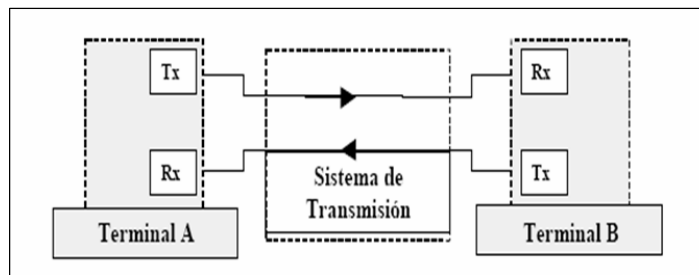


Figura I.4 Comunicación Full Duplex

### I.3 TIPOS DE CONEXIÓN

Existen cuatro tipos de conexión entre equipos, los cuales son los siguientes:

Enlaces *punto-a-punto*, el puerto de comunicación se conecta a un solo puerto de un equipo a otro.

Conexiones *multipunto*, en este tipo de conexión diversos equipos pueden estar conectados al mismo medio.

Conexiones tipo *Daisy-chain*, aquí los equipos son conectados uno después del otro, requiriendo conectar un nuevo equipo en el extremo de la cadena.

Enlaces tipo *nube*, en este tipo de enlaces cada equipo está conectado a una red y no a un dispositivo en particular. Cuando el equipo desea conectarse con algún otro solicita a la red que establezca la conexión.

En la figura I.5 se muestran los diferentes tipos de conexión.

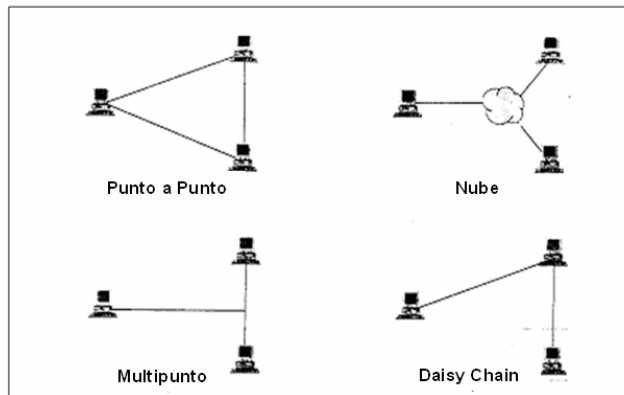


Figura I.5 Tipos de Conexión

### I.4 SINCRONÍA

Dentro de la transmisión de información existen tres tipos de sincronía:

La *transmisión asíncrona*, en este tipo de transmisión las unidades de información (celdas), son de tamaño fijo y ocurren en cualquier momento. Un ejemplo son las comunicaciones seriales de las PC's y las redes ATM.

Cuando el modo de transmisión entre dos equipos es asíncrono éstos no tienen un reloj común. Sin embargo es imprescindible que el receptor sepa en qué instante recibe un bit y cuál es la duración del mismo, ya que tiene que recogerlo del enlace para interpretar la información que le está llegando.

Para conseguir esta sincronización el emisor envía la información en bloques de palabras (o caracteres), cada vez que va a transmitir una palabra nueva envía un bit especial denominado bit de comienzo o arranque, que indicará al receptor que a partir de ese momento va a comenzar a recibir una palabra. Terminada la transmisión de la palabra el emisor envía uno (o varios bits) denominados de final o parada, que indican al receptor que la palabra ha terminado. Como la longitud de la palabra es fija (normalmente 8 bits) el receptor puede leer e

interpretar esta información sin problemas y sin la necesidad de compartir un reloj con el emisor.

La *transmisión síncrona*, aquí se envían unidades de información variables (tramas), que requieren de cierto preámbulo o conjunto de bits para sincronizar el reloj del receptor con la información que está arribando.

Cuando se utiliza este tipo de transmisión los datos se transmiten con un ritmo fijo, marcado por un reloj o base de tiempo común a los equipos transmisor y receptor. Se denomina sincronismo al establecimiento de este reloj con la finalidad de interpretar adecuadamente las señales recibidas.

Cuando existe este sincronismo los equipos involucrados en una transmisión conocen el instante exacto en que debe aparecer determinada información, de este modo las tareas de inserción, recuperación o conmutación de los datos del canal resultan mucho más sencillas. Además no es necesario transmitir bits de arranque y parada para indicar el comienzo y el final de la transmisión como ocurría con las transmisiones asíncronas. Esto conlleva un mejor aprovechamiento de la capacidad del enlace, ya que toda la información transmitida es útil.

Y por último la *transmisión isócrona*, en este tipo de transmisión se envían porciones de la información a ser transmitida, en forma periódica (slots de tiempo), en donde cada sesión tiene asignado su slot independiente si envía información o no.

En la figura I.6 se ilustran los tipos de sincronía que se han mencionado.

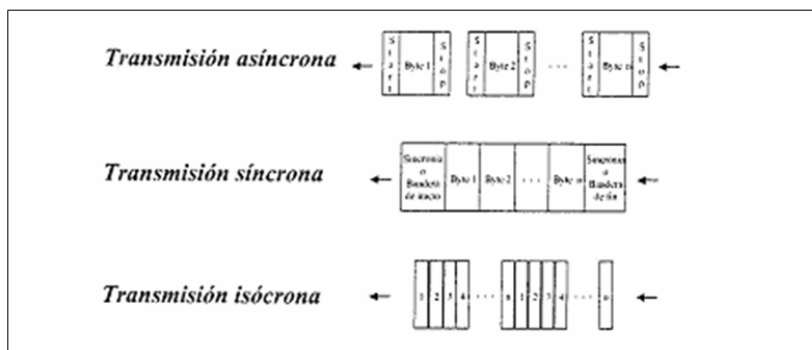


Figura I.6 Tipos de Sincronía

## I.5 REDES DE DATOS

Una red se define como un conjunto de dispositivos, los cuales pueden ser computadoras, impresoras, concentradores y ruteadores, conectados entre sí a través de puntos de acceso que comparten recursos e información utilizando para ello uno o más medios de transmisión. Una red es un conjunto de medios para proporcionar servicios de telecomunicación entre cierto número de ubicaciones.

Una red tiene dos componentes principales:

**Nodo:** Es cualquier punto de acceso a la red y el componente básico de la misma. A cada nodo se conecta un dispositivo que puede variar en cuanto a funcionalidad.

**Medios de transmisión:** Son la vía por donde se transportan los datos en forma de señal analógica o digitales, a través de los nodos de una red y estos pueden ser los siguientes:

*Par de cobre trenzado (corrientes eléctricas)*

Es el medio más barato y más usado. Consiste en un par de cables, embutidos para su aislamiento, para cada enlace de comunicación. Debido a que puede haber acoples entre pares, estos se trenzan con pasos diferentes. La utilización del trenzado tiende a disminuir la interferencia electromagnética.

Este tipo de medio es el más utilizado debido a su bajo costo (se utiliza mucho en telefonía) pero su inconveniente principal es su poca velocidad de transmisión y su corta distancia de alcance, puede tener una capacidad de transmisión en varios Mb. Con estos cables, se pueden transmitir señales analógicas o digitales.

*Cable coaxial*

Consiste en un cable conductor interno (cilíndrico) separado de otro cable conductor externo por anillos aislantes o por un aislante macizo. Todo esto se recubre por otra capa aislante que es la funda del cable. Este cable, aunque es más caro que el par trenzado, se puede utilizar en distancias más largas, con velocidades de transmisión superiores, menos interferencias y permite conectar más estaciones.

*Fibra óptica (luz)*

Se trata de un medio muy flexible y muy fino que conduce energía de naturaleza óptica. Su forma es cilíndrica con tres secciones radiales: núcleo, revestimiento y cubierta. El núcleo está formado por una o varias fibras muy finas de cristal o plástico. Cada fibra está rodeada por su propio revestimiento que es un cristal o plástico con diferentes propiedades ópticas distintas a las del núcleo. Alrededor de este conglomerado está la cubierta (constituida de material plástico o similar) que se encarga de aislar el contenido de aplastamientos, abrasiones, humedad, etc.

*Microondas terrestres o satelitales (ondas de radio)*

Suelen utilizarse antenas parabólicas. Para conexiones a larga distancia, se utilizan conexiones intermedias punto a punto entre antenas parabólicas. Se suelen utilizar en sustitución del cable coaxial o las fibras ópticas ya que se necesitan menos repetidores y amplificadores, aunque se necesitan antenas alineadas. Se usan para transmisión de televisión y voz. La principal causa de pérdidas es la atenuación debido a que las pérdidas aumentan con el cuadrado de la distancia (con cable coaxial y par trenzado son logarítmicas).

**I.6 TIPOS DE REDES**

Las redes se clasifican generalmente en base a su cobertura.

*REDES DE ÁREA LOCAL (LAN)*

Las redes de área local (LAN) son muy populares en las empresas enlazando las computadoras personales, impresoras y servidores. Tienen todo tipo de interfaces físicas, cubren el área comprendida por el edificio o el conjunto de edificios (campus). Es una red donde todos sus componentes se encuentran dentro de un radio de 10Km.

Sus tasas de transferencia son de 4 Mbps o más. Toda la infraestructura pertenece a la empresa usuaria. Los ejemplos más representativos de este tipo de redes son: Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet y LAN Emulation de ATM.

El objetivo de la red de área local es el uso dentro de un edificio o grupo de edificios, si es muy bien construida, permite que muchas personas utilicen el mismo software al mismo tiempo.<sup>2</sup>

### *REDES DE ÁREA METROPOLITANA (MAN)*

Las redes metropolitanas (MAN) su función es enlazar redes que se encuentran en edificios distantes dentro de una ciudad.

Las interfaces que tienen son fundamentalmente de fibra óptica, las tasas de transmisión son de 100 Mbps o más. Usualmente son instaladas por una empresa de servicio público quien renta su capacidad instalada a empresas que requieren de dicha conectividad.

En un principio se utilizó FDDI como una solución de tasa alta de 100 Mbps y de tecnología madura. Actualmente ATM es la mejor solución, utilizando los mismos medios que FDDI.

### *REDES DE ÁREA AMPLIA (WAN)*

Las redes de área amplia (WAN) tienen como finalidad interconectar redes locales o equipos independientes que se encuentran en ciudades distintas. Pueden cubrir todo el planeta.

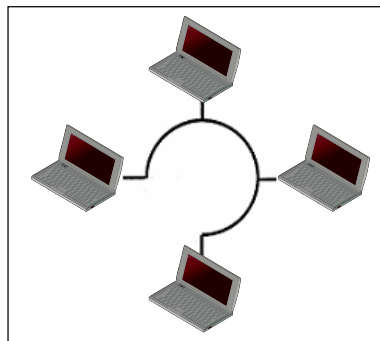
Se utilizan preferentemente interfaces seriales o interfaces síncronas de ISDN. La mayoría de las veces las tasas de transferencia no rebasan los 2Mbps. Típicamente se utiliza la infraestructura de alguna(s) empresa(s) de servicio público como es el caso de la red telefónica conmutada (RTC) o la red digital de servicios integrados (ISDN), redes de switcheo de paquetes o ATM.

El implementar cualquier tipo de red, trae consigo el seguir una topología, es decir, determinar la forma en como serán conectados los diferentes dispositivos que conformarán dicha red.

Existen cuatro diferentes tipo de topología:

#### *TOPOLOGÍA DE MEDIO COMÚN O BUS*

En la topología de medio común o bus todas las estaciones están conectadas directamente al medio de comunicación. Un ejemplo de este tipo de topología son las redes que utilizan cable coaxial. En la figura I.7 se ilustra la Topología Bus.

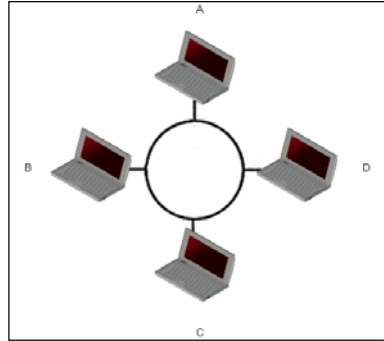


*Figura I.7 Topología Bus*

<sup>2</sup> Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Roy Blake, pág. 368.

*TOPOLOGÍA DE ANILLO*

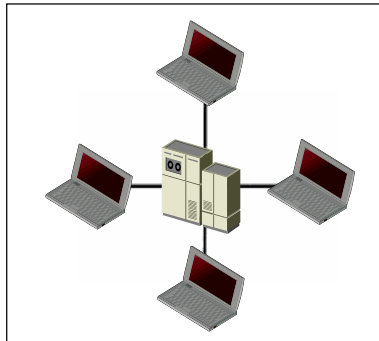
En la topología de anillo cada nodo está conectado al nodo siguiente y al nodo anterior. En la gráfica se puede apreciar que A está conectado con B, B con C, C con D, y D con A. En la figura I.8 se muestra la Topología anillo.



*Figura I.8 Topología Anillo*

*TOPOLOGÍA DE ESTRELLA O ÁRBOL*

En la topología de estrella o árbol todos los nodos están conectados a un concentrador (hub). Se le denomina árbol pues al propagar la estrella a más niveles se forma un árbol (cada nodo a su vez puede ser el concentrador de los nodos del siguiente nivel). En la figura I.9 se muestra la conexión de una Topología de Estrella.



*Figura I.9 Topología de Estrella*

## TOPOLOGÍA DE MALLA

En la topología de malla las conexiones pueden tener enlaces redundantes para que la red pueda seguir funcionando aunque algunos enlaces no estén operando. En la figura I.10 se muestra la conexión de una Topología de Malla.

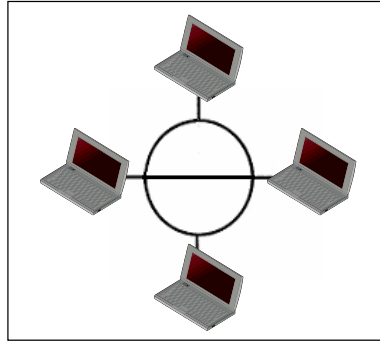


Figura I.10 Topología de Malla

Actualmente en todas las empresas se utilizan redes, ya que permiten el intercambio de información entre distintos puestos de trabajo. Gracias a ellas se puede tener la información debidamente actualizada en el momento en que se requiera y en el lugar donde se necesite.

Adicionalmente se pueden centralizar algunas funciones y recursos (impresoras, servidores de archivos, etc.) y evitar que en cada puesto de trabajo se instalen estos dispositivos. Por todo lo anterior las redes permiten abatir costos y gastos de las empresas y personas que las utilizan, contribuyendo en forma sustancial al incremento de la productividad.

## I.7 PROTOCOLOS

En comunicaciones un protocolo es un conjunto de reglas, normas y estándares que se han de seguir para poder intercambiar información con terceros.

Los protocolos definen las reglas para la transmisión y recepción de la información entre los nodos de la red, de modo que para que dos nodos se puedan comunicar entre sí es necesario que ambos empleen la misma configuración de protocolos.

Entre los protocolos propios de una red de área local podemos distinguir dos principales grupos; los del nivel físico y de enlace, y los de los niveles 1 y 2 del modelo OSI, los cuales definen las funciones asociadas con el uso del medio de transmisión, es decir, envío de los datos a nivel de bits y trama y el modo de acceso de los nodos al medio. Estos protocolos vienen determinados por el tipo de red que se este utilizando, llámese Ethernet, Token Ring, etc.

El segundo grupo de protocolos se refiere a aquellos que realizan las funciones de los niveles de red y transporte y los niveles 3 y 4 del modelo OSI; es decir, son los que se encargan básicamente del encaminamiento de la información y garantizar una comunicación extremo a extremo libre de errores. Estos protocolos transmiten la información a través de la red en pequeños segmentos llamados paquetes. Si un ordenador quiere transmitir una gran cantidad de datos a otro, esos datos son divididos en paquetes en el origen y vueltos a ensamblar en el ordenador destino.

Cada protocolo define su propio formato de los paquetes en el que se especifica el origen, destino, longitud y tipo del paquete, así como la información redundante para el control de errores. Los protocolos de los niveles 1 y 2 dependen del tipo de red, mientras que para los niveles 3 y 4 hay diferentes alternativas, siendo TCP/IP la configuración más extendida.

Un protocolo de comunicación define “qué” se debe hacer para lograr la comunicación entre diferentes partes o equipos, para establecer la comunicación se necesita utilizar el mismo protocolo, de forma más clara un protocolo es la descripción formal del conjunto de reglas y convenciones que rigen la forma en que los dispositivos de la red intercambian información o se comunican entre sí.

Como ya se ha mencionado, es necesario que los dispositivos se comuniquen de una forma ordenada y eficiente, para ello existen diferentes tipos de protocolos, que de acuerdo a sus características permitirán comunicar los diferentes dispositivos dentro de una red, los protocolos más comunes se muestran en la siguiente tabla, así como el tipo de red en la cual se utilizan.

<b>Protocolo</b>	<b>Tipo de Red</b>
x.25	Redes Públicas (WAN,MAN)
Frame Relay	Redes Públicas (WAN)
TCP/IP	Redes Públicas (WAN), Redes Privadas (LAN)
ATM	Redes Públicas (WAN)
IPX/SPX	Redes Privadas (LAN)
NETBEUI	Redes Privadas (LAN)

## **I.8 MODELOS DE COMUNICACIÓN**

Los modelos de comunicación son las funciones estructuradas que se deben realizar en capas para llevar a cabo la comunicación entre emisor y receptor.

Existen diversos modelos de comunicación, siendo los más importantes:

El modelo OSI que se utiliza como modelo conceptual y el modelo TCP/IP que es el más utilizado.

El modelo OSI (Open System Interconnection) fue diseñado por la ISO (International Standards Organization) a raíz de que IBM diseñó su modelo SNA (Systems Network Architecture). La ISO definió que el modelo OSI tendría 7 capas (el modelo SNA también tiene 7 capas pero son distintas a las del OSI) el diseño fue realizado en base a definiciones llamadas de arriba hacia abajo, esto es, determinadas, sin tomar en cuenta la opinión de los usuarios.

La unidad de información que intercambian las entidades de cada capa se le denomina PDU (Protocol Data Unit).



Cada capa mantiene un diálogo (protocolo) con la capa de igual nivel en el otro equipo a través de la capa inmediata inferior, y con la capa superior. En la figura I.11 se ilustran estas capas.



Figura I.11 Capas del modelo OSI

La **capa física** es el nivel más bajo del modelo. Su función es la de transmitir la información (bits) a través del medio.

La interfaz física es el punto de contacto entre el equipo y el medio de comunicación definida en el puerto del equipo, ahí se generan los impulsos eléctricos, luminosos o electromagnéticos que se propagan por el medio. Se define la función de cada pin del conector, los voltajes y otras características requeridas para que la señal se propague eficientemente por el medio.

La **capa de enlace** proporciona la transmisión confiable entre dos puntos contiguos de la red, para que esto se lleve a cabo, a la información a ser transmitida se le adiciona la dirección destino y la dirección origen. Esta capa al igual que la capa física básicamente acepta y transmite un flujo de bits sin tener en cuenta su significado o estructura.

También le adiciona un campo que indica la longitud de la información a ser enviada y un campo que permite verificar que no se ganó o perdió información durante la transmisión. A todo este conjunto de campos que forma la unidad de información a ser transmitida se le conoce con el nombre de trama (frame). Cada capa tiene su propia unidad de información (PDU). El PDU de la capa de enlace es la trama (frame).

La estructura de la trama tiene que ver con el método de acceso o protocolo de la capa 2 que especifica como evitar que dos o más estaciones transmitan al mismo tiempo y el resultado de dicha colisión distorsione las tramas. Los equipos intermedios de la capa de enlace son los bridges (puentes) y los switches.

En las redes de área amplia la capa de enlace es monolítica. En las redes locales y las metropolitanas ésta capa está compuesta por dos subcapas. La función de la subcapa inferior es la de manejar el protocolo específico al tipo de red y la de mantener un diálogo estándar con la subcapa superior. La función de la subcapa superior es la de mantener un diálogo estándar con cada una de las posibles subcapas inferiores y con la capa 3.

La subcapa superior se le conoce como LLC (Logical Link Control) y como se mencionó, es la subcapa homogeneizadora entre diferentes subcapas inferiores. Las subcapas inferiores se les conocen como MAC (Media Access Control) y manejan el protocolo y señalización específicos del tipo de red.

La **capa de red** es la responsable de definir la ruta que debe seguir cada una de las porciones del mensaje total para llegar del emisor al receptor, sin importar las redes intermedias por las que tenga que pasar. La unidad de transmisión de datos es el paquete, esta capa tiene el control de congestión de la red, este control evitará que en dado caso de que lleguen a existir demasiados paquetes no se produzcan un cuello de botella, en muchas ocasiones se introduce una función de contabilidad en la capa de red, el software implementado tiene la tarea de saber cuantos paquetes o bits se enviaron a cada destino con el objeto de producir información de facturación, además, la responsabilidad de resolver problemas de interconexión de la red recae en esta capa.

En resumen esta capa tiene como funciones la conexión y desconexión de las redes, sincronización y control de flujo de las transferencias y la detección de errores.

Es importante mencionar que dentro de la capa de red existen dos tipos de protocolo: *protocolo ruteador* y *protocolo ruteado*. El protocolo ruteador es el que se utiliza para formar la tabla de ruteo en donde se define la mejor ruta para llegar a cada red destino. El protocolo ruteado es el que se utiliza para preguntar como llegar a la red destino. El protocolo ruteador es el equivalente a la comunicación entre los agentes de tránsito para percatarse como llegar a cada red destino. El protocolo ruteado es el equivalente a preguntarle al agente de tránsito como llegar a la dirección destino. Cada modelo de comunicación tiene su propio esquema de direccionamiento y por lo tanto tienen sus propios protocolos de ruteador y ruteado.

La **capa de transporte** es la encargada de llevar todo el mensaje desde el emisor hasta el receptor, completo, en orden y sin omisiones ni duplicaciones, es la primer capa que solo reside en los equipos finales (emisor y receptor).

El objetivo de la capa de transporte es proporcionar un mecanismo fiable para el intercambio de datos entre procesos en diferentes sistemas. Este mecanismo independiza al nivel de sesión y niveles superiores de los elementos de comunicación que constituyen la red; es decir, oculta a los niveles superiores los detalles específicos de la red a través de la cual se transmite la información, pasa los datos del nivel de sesión al nivel de red, fragmentándolos en unidades más pequeñas si es necesario y asegurando que todos llegan correctamente a su destino, para ello emplea funciones de direccionamiento, multiplexación, establecimiento de la conexión y desconexión, de transferencia y control de flujo de los datos

Se encarga de encaminar los paquetes desde su origen a su destino. Las rutas pueden basarse en tablas estáticas o encaminarse dinámicamente en forma diferente cada paquete. Una de las tareas del nivel de red es ocuparse de evitar la congestión por exceso de paquetes en alguna rama de la subred. Si el nivel de red recibe una trama que no es para la máquina en que reside, no la pasará a los niveles superiores y la reenviará hacia la máquina destino.

La **capa de sesión** es un tipo de sistema operativo para la comunicación de datos. Permite que los usuarios de diferentes computadoras puedan establecer sesiones entre ellos. Uno de los servicios de la capa de sesión consiste en la realización del control de diálogo. Las sesiones permiten que el tráfico vaya en ambas direcciones al mismo tiempo, o bien, en una sola dirección en un instante dado. El propósito de este nivel es proporcionar los medios necesarios para controlar el diálogo entre entidades de presentación. Este diálogo se realiza a través del establecimiento y uso de una conexión, denominada sesión.

En caso de que el tráfico solo pueda ir en una sola dirección en un momento dado, la capa de sesión ayudará en el seguimiento de quién tiene el turno. Otro de los servicios de la capa de sesión es la sincronización, esta capa proporciona una forma de insertar puntos de verificación en el flujo de datos, con el objeto de que solamente tengan que retransmitirse los datos que se encuentren enseguida de una caída de la red.

En resumen esta capa tiene como función la de establecer la comunicación entre los usuarios finales, es decir, si se inició la sesión, si se produjo el intercambio de información y por último si la sesión terminó, además permite establecer el diálogo entre el emisor y el receptor y sincroniza la operación entre las tareas de los programas de equipos terminales.

La **capa de presentación** tiene como función básica el permitir que diferentes equipos con códigos distintos presenten al usuario la información en forma consistente, es decir, traduce los códigos y funciones de diferentes equipos finales para brindar funcionalidad y presentación similares, permite a computadoras que intercambian información entenderse o interpretarse entre ellas independientemente de la codificación que utilicen para los caracteres.

Los códigos para representar caracteres, valores de punto flotante, teclas de función, etc. pueden variar entre equipos de modelos o proveedores distintos pero el usuario debe tener la misma interfaz en cualquiera de ellos. Adicionalmente la capa de presentación puede encriptar/desencriptar la información para que cualquier usuario no autorizado observe datos aparentemente sin sentido debido a que no tiene los códigos para poder desencriptarlos y por lo tanto interpretar correctamente la información transmitida.

La **capa de aplicación** es el nivel superior de la arquitectura OSI y tiene como misión controlar y coordinar las funciones a realizar por los programas de usuarios de manera que les permita el acceso al entorno OSI. Los procesos de aplicaciones se comunican entre sí por medio de las entidades de aplicación a las que están asociadas y son controladas por protocolos de aplicación utilizando servicios de presentación (de su nivel inferior inmediato, nivel 6), es la capa que tiene comunicación directa con el usuario final. Un usuario final puede ser una persona o un programa dentro de la computadora. El usuario final le comunica pocas instrucciones y la capa de aplicación las traduce en instrucciones precisas que deben realizarse a nivel de detalle.

Se pueden distinguir tres tipos de procesos de aplicación:

- Procesos del propio sistema, son los que ejecutan funciones para controlar y supervisar operaciones de los sistemas conectados a la red de comunicación.
- Procesos de gestión de las aplicaciones, son los encargados de controlar y supervisar las operaciones de los procesos de aplicación.
- Y procesos de aplicación de usuario, son los que procesan la información real para los usuarios finales.

La capa de aplicación del modelo OSI contiene una variedad de protocolos que hacen posible ofrecer una serie de aplicaciones al usuario final.

#### *CAPAS DE COMUNICACIONES*

Las capas de comunicaciones son las tres capas inferiores, esto es, son las que se encuentran en los equipos intermedios hasta llegar al receptor, éstas en realidad son las que están involucradas con las actividades de transmisión de la información y el resto solamente utilizan los servicios de comunicación de estas tres capas y son las siguientes:

Capa 3 (red)  
 Capa 2 (enlace)  
 Capa 1 (física)

## CAPAS DE SERVICIOS

Los protocolos de las últimas cuatro capas solo residen en los equipos de los usuarios finales y no en los equipos intermedios. En realidad no son capas de comunicaciones sino que tan solo utilizan las capas inferiores para realizar la transmisión de la información. A estas capas se les conoce como las capas de servicios y son las siguientes:

- Capa 7 (aplicación)
- Capa 6 (presentación)
- Capa 5 (sesión)
- Capa 4 (transporte)

### Modelo TCP/IP

El modelo TCP/IP surgió del requerimiento de las fuerzas armadas de los Estados Unidos para permitir cualquier comunicación militar (incluyendo el lanzamiento de misiles), aun en caso de guerra, en donde pudiera verse afectada gran parte de la infraestructura de telecomunicaciones. Siguió un esquema comúnmente llamado paranoico, lo cual quiere decir que presupone que cualquier desgracia pueda ocurrir.

El modelo TCP/IP está basado en el tipo de red packet-switched (de conmutación de paquetes), y tiene cuatro capas: la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de Internet y la capa de red. Es importante observar que algunas de las capas del modelo TCP/IP poseen el mismo nombre que las capas del modelo OSI, pero no corresponden exactamente unas con otras.

La **capa de aplicación**. Los diseñadores de TCP/IP sintieron que los protocolos de nivel superior deberían incluir los detalles de las capas de sesión y presentación y simplemente crearon una capa de aplicación que maneja protocolos de alto nivel, aspectos de representación, codificación y control de diálogo. El modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa y da por entendido que estos datos están correctamente empaquetados para la siguiente capa.

La **capa de transporte** permite que capas pares en los host de fuente y destino puedan conversar. Esta se refiere a los aspectos de calidad del servicio con respecto a la confiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Utiliza los servicios de la capa de red para proveer un servicio eficiente y confiable a los procesos de la capa de aplicación.

El hardware y el software dentro de la capa de transporte se denominan entidad de transporte, y pueden estar en el kernel, en un proceso de usuario, en una tarjeta, etc.

La **capa de Internet** tiene el propósito de enviar paquetes origen, proporciona conectividad y selección de ruta dentro de una red además se cerciora que estos paquetes lleguen a su destino no importando la ruta y las redes que se utilizaron para llegar hasta allí.

En esta capa se produce la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes. Durante su transmisión los paquetes pueden ser divididos en fragmentos que se montan de nuevo en el destino.

En una comunicación con arquitectura TCP/IP, ambos host pueden introducir paquetes en la red, viajando estos independientemente de cual sea su destino. Por ello, no hay garantía ninguna de entrega de los paquetes ni de orden en los mismos.

La *capa de red*, también denominada capa de host a red, es la capa que se ocupa de todos los aspectos que requiere un paquete IP para realizar realmente un enlace físico y luego realizar otro. Esta capa incluye los detalles de tecnología de LAN y WAN y todos los detalles de las capas física y de enlace de datos del modelo OSI.

### COMPARACIÓN DE LOS MODELOS OSI - TCP/IP

Los modelos de referencia OSI y TCP/IP tienen mucho en común. Ambos se basan en el concepto de un gran número de protocolos independientes. También la funcionalidad de las capas es muy similar. Por ejemplo, en ambos modelos las capas por encima de la de transporte, incluida ésta, están ahí para prestar un servicio de transporte de extremo a extremo, independiente de la red, a los procesos que deseen comunicarse. Estas capas forman el proveedor de transporte. También en ambos modelos, las capas, encima de la de transporte, son usuarios del servicio de transporte orientados a aplicaciones.

A pesar de estas similitudes fundamentales, los dos modelos tienen también muchas diferencias.

Las relaciones de las capas de ambos modelos se puede describir de la siguiente forma, la capa de Network Interface corresponde a las capas física y de enlace, la capa Internet corresponde a la capa de red, la capa de transporte corresponde a las capas de transporte y de sesión. Algunos autores la relacionan solamente con la capa de transporte del modelo OSI. La capa aplicación corresponde a las capas de presentación y de aplicación, algunos autores la relacionan con las tres capas superiores del modelo OSI: sesión, presentación y aplicación. Debido a que se utilizan nombres similares para capas con funciones distintas entre ambos modelos, comúnmente se hace referencia a las capas del modelo TCP/IP con sus nombres originales en inglés y cuando se hace referencia a las capas del modelo OSI se les menciona con sus traducciones al español.

Dentro del modelo OSI, existen tres conceptos que son fundamentales:

- Servicios
- Interfaces y
- Protocolo.

Es probable que la contribución más importante del modelo OSI sea hacer explícita la distinción entre estos tres conceptos. Cada capa presta algunos servicios a la capa que se encuentra sobre ella. La definición de servicio dice lo que la capa hace, no cómo es que las entidades superiores tienen acceso a ella o cómo funciona la capa.

La interfaz de una capa les dice a los procesos de arriba cómo acceder a ella; especifica cuáles son los parámetros y qué resultados esperar; nada dice tampoco sobre cómo trabaja la capa por dentro.

Finalmente, los protocolos pares que se usan en una capa son asunto de la capa. Ésta puede usar los protocolos que quiera, siempre que consiga que se realice el trabajo (esto es, que provea los servicios que ofrece). La capa también puede cambiar los protocolos a voluntad sin afectar el software de las capas superiores.

Estas ideas se ajustan muy bien con las ideas acerca de la programación orientada a objetos. Al igual que una capa, un objeto tiene un conjunto de métodos (operaciones) que los procesos pueden invocar desde fuera del objeto. La semántica de estos métodos define el conjunto de servicios que ofrece el objeto. Los parámetros y resultados de los métodos forman la interfaz del objeto. El código interno del objeto es su protocolo y no está visible ni es de la incumbencia de las entidades externas al objeto.

El modelo TCP/IP originalmente no distinguía en forma clara entre servicio, interfaz y protocolo, aunque se ha tratado de reajustarlo después a fin de hacerlo más parecido al modelo OSI. Por ejemplo; los únicos servicios reales que ofrece la capa de red son SENT IP PACKET Y RECEIVE IP PACKET para enviar y recibir paquetes de IP, respectivamente.

Como consecuencia, en el modelo OSI se ocultan mejor los protocolos que en el modelo TCP/IP y se pueden reemplazar con relativa facilidad al cambiar la tecnología. La capacidad de efectuar tales cambios es uno de los principales propósitos de tener protocolos por capas en primer lugar.

El modelo de referencia OSI se desarrolló antes de que se inventaran los protocolos. Este orden significa que el modelo no se orientó hacia un conjunto específico de protocolos, lo cual lo convirtió en algo muy general. El lado malo de este orden es que los diseñadores no tenían mucha experiencia y no supieron bien que funcionalidad poner en que capa.

Un ejemplo de esto es la capa de enlace de datos que originalmente tenía que ver sólo con redes de punto a punto. Cuando llegaron las redes de difusión, se tuvo que insertar una nueva subcapa en el modelo. Cuando la gente empezó a construir redes reales haciendo uso del modelo OSI y de los protocolos existentes, descubrió que no cuadraban con las especificaciones de servicio requeridas, de modo que se tuvieron que insertar en el modelo subcapas de convergencia que permitieran solucionar las diferencias. Por último, el comité esperaba originalmente que cada país tuviera una red controlada por el gobierno que usara los protocolos OSI, de manera que no se pensó en la interconexión de redes y las cosas no salieron como se esperaba.

Lo contrario sucedió con el modelo TCP/IP, primero llegaron los protocolos, y el modelo fue en realidad sólo una descripción de los protocolos existentes. No hubo el problema de ajustar los protocolos al modelo; se ajustaban a la perfección. El único problema fue que el modelo no se ajustaba a ninguna otra pila de protocolos; en consecuencia, no fue de mucha utilidad para describir otras redes que no fueran del tipo TCP/IP.

Una diferencia obvia entre los dos modelos es la cantidad de capas: el modelo OSI tiene siete capas y el TCP/IP cuatro. Ambos tienen capas de red, de transporte y de aplicación, pero las otras capas son diferentes.

Otra diferencia se tiene en el área de la comunicación sin conexión frente a la orientada a la conexión. El modelo OSI apoya la comunicación tanto sin conexión como la orientada a la conexión en la capa de red, pero en la capa de transporte, donde es más importante ya que el servicio de transporte es visible a los usuarios, lo hace únicamente con la comunicación orientada a la conexión. El modelo TCP/IP solo tiene un modo en la capa de red (sin conexión) pero apoya ambos modos en la capa de transporte, con lo que ofrece una alternativa a los usuarios. Esta elección es importante sobre todo para los protocolos simples de petición y respuesta.

Ambos modelos presentan las siguientes similitudes y diferencias, las cuales se ilustran en la figura I.12:

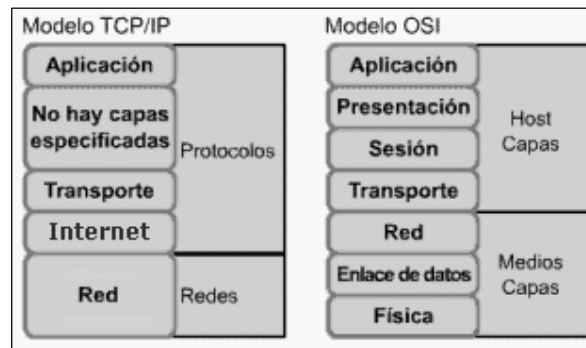


Figura I.12 Comparación OSI y TCP/IP

De la figura anterior se puede observar lo siguiente:

**Similitudes:**

- Ambos se dividen en capas o niveles.
- Ambos tienen capas de aplicación, aunque incluyen servicios muy distintos.
- Se utiliza la tecnología de conmutación de paquetes (no de conmutación de circuitos).

**Diferencias:**

- OSI distingue de forma clara los servicios, las interfaces y los protocolos. TCP/IP no lo hace así, no dejando de forma clara esta separación.
- Servicio: lo que una capa hace.
- Interfaz: cómo se pueden acceder a los servicios.
- Protocolo: implementación de los servicios.

Como ya se ha mencionado el modelo OSI fue definido antes de implementar los protocolos, por lo que algunas funcionalidades necesarias fallan o no existen. En cambio, TCP/IP se creó después que los protocolos, por lo que se amolda a ellos perfectamente.

Dentro de las características más notables del modelo TCP/IP se pueden mencionar las siguientes:

- TCP/IP combina las funciones de la capa de presentación y de sesión en la capa de aplicación.
- TCP/IP combina las capas de enlace de datos y la capa física del modelo OSI en una sola capa.
- TCP/IP parece ser más simple porque tiene menos capas.

Los protocolos TCP/IP son los estándares en torno a los cuales se desarrolló Internet, de modo que la credibilidad del modelo TCP/IP se debe en gran parte a sus protocolos. En comparación, no se crean redes a partir de protocolos específicos relacionados con OSI, aunque todo el mundo utiliza este modelo como guía.

## I.9 MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)

Si se requiere transmitir una señal y ésta es de origen analógica y se desea utilizar una red digital se necesita convertir esa forma de onda continua en una serie de pulsos discretos, es decir, para transmitir una señal analógica por medios digitales, primero es necesario muestrear la señal por intervalos, la amplitud de cada muestra se expresa entonces como un número binario para transmisión.<sup>3</sup>

Una de las técnicas más empleadas con este fin, es la denominada MIC (Modulación por impulsos codificados) o PCM por las siglas en inglés (Pulse Code Modulation).

La modulación por pulsos codificados consiste en representar las muestras instantáneas de una señal analógica mediante palabras digitales en un tren de impulsos en serie, como se ilustra en la figura I.13.

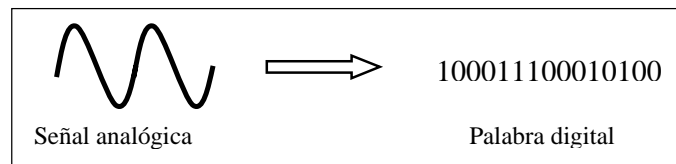


Figura I.13 Modulación por pulsos codificados

Con esta técnica el intervalo disponible de voltajes de señal se divide en niveles y a cada uno se asigna un número binario, luego cada muestra se representa por el número binario que representa el nivel más cercano a su amplitud y este número se transmite.<sup>4</sup>

Desde un inicio la transmisión analógica era la transmisión dominante, pero a medida del crecimiento de la comunicación a grandes velocidades se necesita considerar la transmisión digital, ya que se transmiten ceros y unos en lugar de señales continuas.

La transmisión digital es superior a la analógica, se puede notar en la transmisión a larga distancia, la transmisión analógica necesita amplificadores por la atenuación de la señal y al pasar por varios amplificadores la señal se distorsiona, lo que no pasa con la transmisión digital.

El proceso de modulación por impulsos codificados requiere de las etapas de muestreo, cuantificación y codificación de la señal.

### *Muestreo*

El muestreo consiste en multiplicar la señal por un tren de pulsos. La velocidad de dicho tren de pulsos (separación entre los pulsos) o velocidad de muestreo viene dada por el teorema de muestreo también conocido como teorema de Nyquist. Este teorema dice que si una señal continua en el tiempo se muestrea a intervalos regulares a un ritmo de al menos dos veces el valor del ancho de banda de dicha señal, las muestras obtenidas contienen toda la información original. Por lo tanto, para las señales vocales (3,4 KHz) la frecuencia de muestreo se establecería al menos en 6,8 KHz, en la práctica se utiliza 8 KHz; es decir, que se muestrea cada 125  $\mu$ segundos, 8000 veces en un segundo (La norma G.711 especifica que el valor nominal recomendado es de 8000 muestras por segundo con una tolerancia de  $\pm 50$  partes por millón).

<sup>3</sup> Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Roy Blake, pág. 286.

<sup>4</sup> Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Roy Blake, pág. 287.



En la figura I.14 se ilustra como se muestrea una señal analógica.

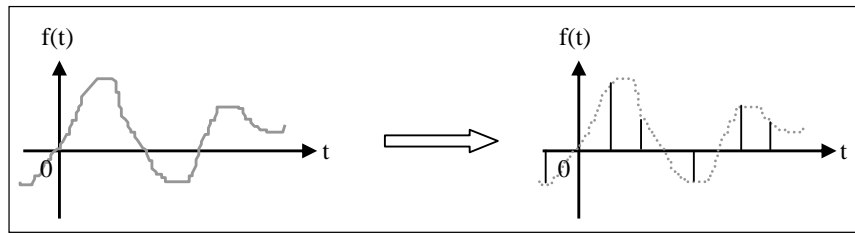


Figura I.14 Muestreo de una señal

### Cuantificación o cuantización

Como consecuencia del muestreo tenemos un conjunto de impulsos modulados en amplitud espaciados por intervalos regulares de tiempo, caracterizados porque sus amplitudes varían de forma analógica, pudiendo adoptar cualquier valor. En la figura I.15 se ilustra la cuantificación de una señal.

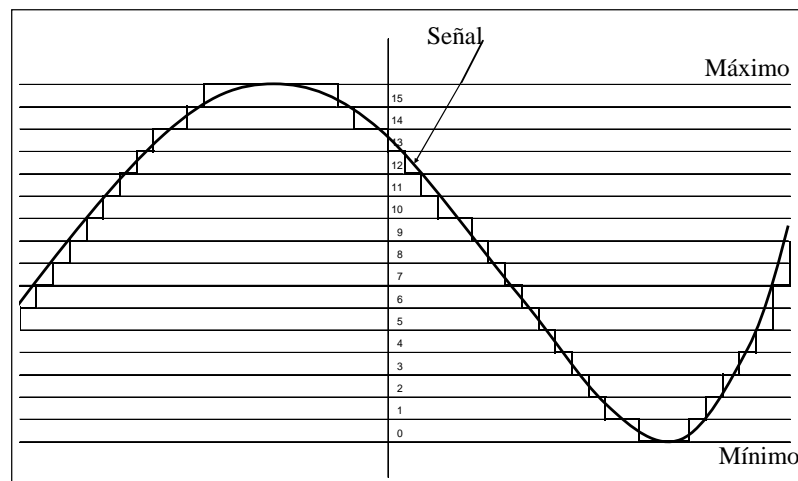


Figura I.15 Cuantificación de una señal

En la etapa de cuantificación se hacen corresponder estos valores con un número finito previamente determinado, definiendo por tanto una escala de valores fijos y asignando a ellos las amplitudes comprendidas entre dos ciertos valores consecutivos; cuanto mayor número de valores se utilicen mayor será la precisión de la muestra y por lo tanto menor el error; aunque el número de bits que se necesitan es mayor para transmitir cada muestra y por lo tanto se tiene un mayor régimen binario. La diferencia entre la señal original y la cuantificada es lo que se conoce como ruido de cuantización.

### Codificación

La codificación es el proceso que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante. En esta última etapa a cada valor anteriormente determinado se le hace corresponder un conjunto de bits, impulsos de amplitud fija (unos) o ausencia de impulsos (ceros). Según el número de niveles que tengamos se necesitarán más o menos bits para identificar cada nivel.

El proceso de Modulación por Pulsos Codificados muestra como se digitaliza una señal analógica, ésta técnica es una de las más empleadas para la transmisión de señales, en sí ésta técnica permite transformar una señal analógica en una secuencia de unos y ceros, es decir; se digitaliza la señal, en la figura I.16 se ilustra este proceso.

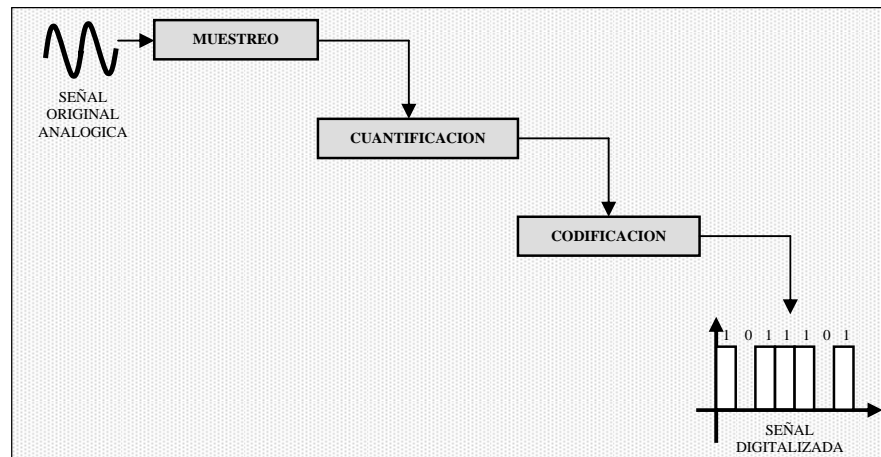


Figura I.16 Esquema de digitalización por pulsos codificados (PCM)

## I.10 CÓDIGOS DE LÍNEA

Los códigos de línea son utilizados dentro de un sistema comunicación con propósitos de transmisión, son comúnmente usados para el transporte digital de datos, estos consisten en representar la señal digital respecto a su amplitud respecto al tiempo, la representación de la señal se realiza mediante un número determinado de pulsos (unos y ceros).

Los códigos de línea se utilizan para analizar las señales digitales en niveles de voltaje o corriente, la presencia de un voltaje o corriente representa un estado lógico mientras que la ausencia representa el contrario.<sup>5</sup>

El objetivo de los códigos de línea es que incorpore información de reloj en los datos, así mismo que permita al receptor sincronizarse para detectar claramente los límites de tiempo de cada dato recibido, el código no debe implicar un aumento del ancho de banda, también verifica que la información de sincronismo pueda recuperarse sin importar el número de unos o ceros sucesivos que vayan en la información además debe detectar y corregir errores.

Los códigos de línea que más comúnmente se utilizan son los siguientes:

**NZR Sin retorno a cero (Non Return to Zero)** este es el más frecuente utilizado dentro de los equipos digitales, por que va acompañado de la señal de reloj, donde el 0 y el 1 representan niveles diferentes, se denomina así por que durante todo el intervalo de bit el pulso mantiene el mismo nivel de tensión sin volver a cero en ningún momento.

**RZ Retorno a cero (Return to Zero)** este código facilita la sincronización, donde el 0 representa el nivel bajo y el 1 indica nivel alto. En este caso a mitad del intervalo de bit, el pulso que representa el uno binario vuelve a cero y durante toda la segunda parte del intervalo se mantiene ahí, esto tiene dos ventajas, la primera es que disminuye el nivel de continua y la segunda, para largas secuencias de unos aparecen flancos de subida y bajada que facilita la recuperación de reloj.

<sup>5</sup> Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Roy Blake, pág. 299.

En la figura I.17 se ilustran los códigos de línea NRZ y RZ.

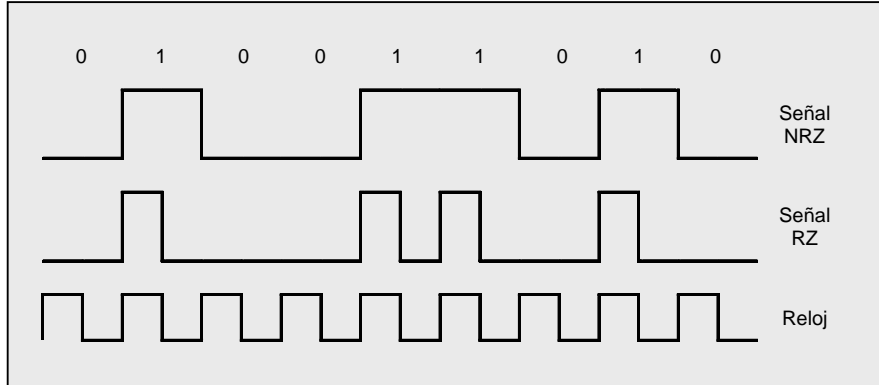


Figura I.17 Códigos de línea NRZ Y RZ

**AMI (Alternate Mark Inversion)** este es un código de tres niveles, nivel de continua nulo, donde 0 es un nivel intermedio y 1 es un nivel alto y bajo alternativamente. En este código los ceros binarios se representan con tensión cero y los unos mediante impulsos positivos y negativos alternativamente, sin embargo, en este caso si existe retorno a cero y durante la segunda mitad del intervalo de bit se utiliza tensión cero para representar un uno, en dado caso de que la señal pueda contener largas secuencias de ceros se utiliza un aleatorizador que limite estadísticamente el número de ceros continuos.

**HDB3 (High Density Bipolar Three Zeros)** este código es similar a AMI, permite una alta densidad de pulsos binarios para mantener la temporización de línea, pero tiene reglas de codificación, los bits 1 se alternan en polaridad y su duración se reduce al 50% (RZ Return to Zero), en otras palabras, se transmite un ciclo de reloj con polaridad alternada. Los bits 0 se transmiten como 0 Volt, una secuencia de 0000 se reemplaza por 000V o R00V, V=1 es un pulso de violación y R=1 es de relleno. Las violaciones se encuentran alternadas entre sí, si existe R lleva la misma polaridad que V. Luego de una violación el siguiente pulso lleva polaridad contraria, se coloca 000V, cuando el pulso anterior a V tiene igual polaridad que V, en caso contrario se coloca R00V, si entre violaciones consecutivas el número de bits es impar se coloca 000V, de lo contrario si es par se coloca R00V. Este código es un código AMI modificado.

**CMI (Codec Mark Inverion)** este código se utiliza para la interfaz de 140 Mbps, sus reglas de codificación indican que los bits 1 se reemplazarán por 11-00 en forma alternada y los bits 0 se reemplazan por 01 (un ciclo de reloj). Este es un código bipolar que mantiene la equiprobabilidad de polaridad; es decir, no tiene componente de corriente continua; nuevamente se produce una alta densidad de cambios de estado para asegurar la extracción del reloj. En la figura I.18 se ilustran los códigos AMI, HDB3 Y CMI.

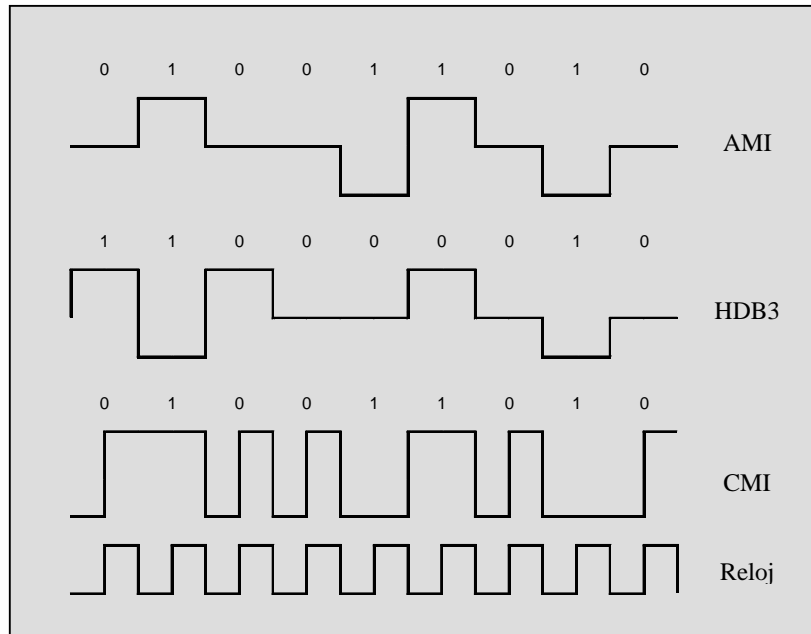


Figura I.18 Códigos de línea AMI, HDB3 y CMI

### I.11 TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE PDH

En la transmisión de señales digitales se recurre a la multiplexación, con el fin de agrupar varios canales en un mismo vínculo. Si bien la velocidad básica usada en la red digital se encuentra estandarizada en 64 Kbps, las velocidades de los órdenes de multiplexación en cambio, forman varias jerarquías.

El primer estándar de transmisión digital fue PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), esta jerarquía soporta como máxima capacidad la transmisión de 565 Mbps y el factor de multiplexación o velocidad mínima soportada es de 2Mbps.<sup>6</sup>

A continuación se mencionan como se conforma PDH en Europa, Norteamérica y Japón:

La **jerarquía europea** agrupa 30+2 canales de 64 Kbps para obtener 2 048 Kbps, luego por multiplexado de 4 tributarios sucesivamente se obtienen las velocidades de 8 448 Kbps; 34 368 Kbps, 13 9264 Kbps y 564 992 Kbps, esta jerarquía se utiliza también en Latinoamérica.

La **jerarquía norteamericana** agrupa en cambio 24 canales a una velocidad de 1 544 Kbps, posteriormente genera 2 ordenes superiores (x4) a 6 312 Kbps, (x7) a 44 736 y (x6) 274 176 Kbps.

<sup>6</sup> Redes de datos y convergencia IP, José Manuel Huidobro, pág. 189.

La **jerarquía japonesa** recupera el valor de 6.312 Kbps pero obtiene los órdenes jerárquicos de (x5) 32 064 Kbps, (x3) 97 728 Kbps y (x4) 397 200 Kbps.

Las velocidades de cada orden es levemente superior al producto de la velocidad de tributario por el número de entradas, debido al agregado de información adicional (*OverHead*). A estas jerarquías se les denomina **Plesiócronicas PDH** por que el reloj utilizado en cada nivel de multiplexación es independiente de los otros niveles, en oposición a este tipo de jerarquías se encuentra la jerarquía **Síncrona SDH** la cual adopta un reloj para toda la red.

La velocidad de la señal de salida no es exactamente la suma de la velocidad de las cuatro entradas, el agregado de salida tiene su propia estructura de trama, con información adicional, además la velocidad de cada tributario de entrada puede variar de manera independiente, para compensar esta situación se usa el proceso de **justificación**. El funcionamiento de un multiplexor PDH se ilustra en la figura I.19

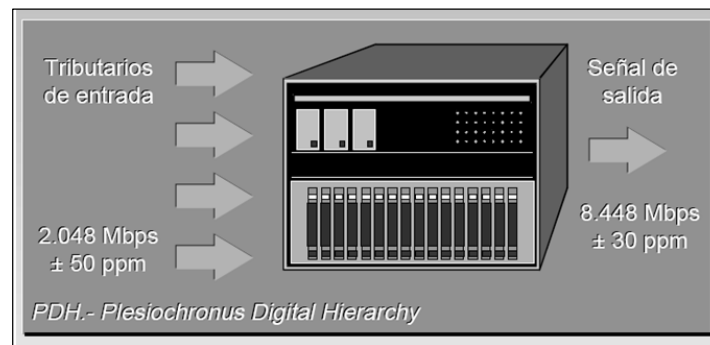


Figura I.19 Funcionamiento de un multiplexor PDH

El proceso de justificación se utiliza para igualar la longitud de las líneas mediante el agregado de espacios entre palabras. La justificación permite interrelacionar señales de datos generadas por relojes distintos (plesiócronicos). La justificación nos permite mantener la información dentro del rango deseado y no tener pérdidas.

## I.12 LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS PDH

PDH fue el primer estándar de transmisión digital que apareció en los últimos años de los 60 y primeros de los 70, en ese entonces los equipos PDH ocupaban el mercado de la transmisión, pero durante los años 90 empezaron su declive frente a los de SDH.

Una de las principales desventajas de PDH es que hay un límite de velocidad, es difícil identificar y extraer una señal de orden inferior dentro de un flujo de orden superior sin demultiplexar los pasos intermedios, por ejemplo, es imposible extraer una señal de 2 Mbps de una de 34 Mbps sin demultiplexar 34 Mbps a 8 Mbps primero, esta imposibilidad se debe a las estructuras de trama de 8, 34 y 140 Mbps, que no dan información sobre la posición de los tributarios.

Otra desventaja de PDH es que debido a que las tasas de bit en cada una de las normas (Europea, Americana y Japonesa) no coinciden, es decir, no han sido estandarizadas, y los códigos de línea son específicos de cada suministrador de equipos, esto trae como consecuencia la incompatibilidad entre las distintas normas de PDH, lo cual dificulta la interconexión entre redes.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Redes de datos y convergencia IP, José Manuel Huidobro, pág. 191.

Otra desventaja es que existen distintos estándares, no hay mecanismos para la protección de circuitos en caso de fallo ni la sincronización, hay poca capacidad para la información de gestión y canales de servicio.

El método de multiplexación en PDH se basa en entrelazado de bit. Por otro lado, las redes PDH son plesiónas (casi síncrona) esto quiere decir que no todas las señales multiplexadas proceden de equipos que transmiten a la misma velocidad debido a variaciones en los tiempos de propagación, falta de sincronización, etc., lo cual obligaba a implantar complicadas y costosas técnicas de relleno para eliminar la falta de sincronismo.<sup>8</sup>

Las limitaciones de PDH dificultan la supervisión, el control y explotación centralizada del sistema, y con los grandes avances en software y hardware, así como la entrada de la fibra óptica como medio de transmisión sustituyendo el cable coaxial fueron orillando al desarrollo de nuevas jerarquías y dejando a PDH a un lado.

En resumen las desventajas de la jerarquía PDH son las siguientes:

- Indefinición de velocidades superiores.
- Complejidad para funciones de extracción e inserción.
- Velocidades fijas.
- Poco encabezado para funciones de operación y mantenimiento.
- Falta de estandarización de interfaces ópticas.
- No explota al máximo la capacidad de velocidad ya que las fibras ópticas son capaces de manejar velocidades mucho mayores.
- La falta de estandarización limita la explotación de estos medios de transmisión de gran capacidad.
- Y hasta este momento han tenido que ser explotados bajo estructuras de multiplexación propietarias.

---

<sup>8</sup> Redes de datos y convergencia IP, José Manuel Huidobro, pág. 191.

## **CAPÍTULO II**

# **“ESTRUCTURA SDH”**

## II.1 ESTRUCTURA BÁSICA DE MULTIPLEXACIÓN

En la actualidad muchas de las señales que son transmitidas son digitales, además, en la transmisión de señales analógicas a menudo se utilizan técnicas digitales para mejores resultados. Digitalizar una señal da como resultado una mejor calidad en la transmisión, una reducción de distorsión y una mejora en la relación señal-ruido.

Todas las desventajas que presentaba PDH propiciaron la definición de un nuevo estándar mundial para la transmisión digital denominada SDH.

En el año de 1984 se realizó la primera propuesta por parte de Bellcore debido a la falta de estandarización en los sistemas de interfaces ópticas, después en 1985 el subcomité de ANSI comenzó a trabajar en la propuesta de Bellcore, y nació SONET (Synchronous Optical Network), en 1988 se realizaron las primeras recomendaciones del ITU-T (CCITT) G.707, G.708 y G.709, en ese mismo año el CCITT desarrolló la SDH (Synchronous Digital Hierarchy) basado en la primera parte de la norma SONET con el mismo principio de multiplexado sincrónico y capacidad de reserva.

La jerarquía de transmisión síncrona fue un paso más en la evolución de los sistemas de transmisión, al igual que lo hizo la técnica PCM. Los primeros sistemas que se desarrollaron fueron en los Estados Unidos donde se les llamo SONET y posteriormente, como ya se mencionó, fueron adoptados por el CCITT bajo el nombre de SDH.

La transmisión a alta velocidad requiere el empleo de medios capaces de soportarla, de esta forma, la fibra óptica se presenta como el más adecuado, SONET emplea una velocidad básica binaria de 51.84 Mbps que constituye el primer nivel jerárquico (OC-1 / Optical Carrier-1) constando la trama STS-1 (Synchronous Transport Signal-1) de 9 filas de 90 bytes.

La Jerarquía Digital Síncrona es un sistema de transmisión que resuelve varias de las limitaciones de la red plesiócrona, entre ellas la más importante es la sincronización. Entre las características más importantes de esta jerarquía cabe destacar las siguientes:

- Es un estándar de transmisión mundial.
- Esta técnica permite el transporte flexible y eficiente de flujos de información.
- Ofrece velocidades superiores y simultáneas a partir de la fundamental.
- Las tramas pueden transmitirse mediante una técnica sencilla.
- Las tramas pueden transmitirse por fibra óptica mono-modo, multi-modo y par de cobre trenzado.
- Cada trama esta identificada por un puntero para su localización.
- Y presenta una gestión eficaz de la red.

El principal objetivo de SDH era la adopción de una verdadera norma mundial que posibilitara una compatibilidad máxima entre diferentes suministradores y operadoras, este estándar especifica velocidades de transmisión, formato de señales, estructura de multiplexación, codificación de línea, parámetros ópticos, etc., así como normas de funcionamiento de los equipos y de gestión de red.<sup>9</sup>

Disponer de una red de transmisión homogénea en todo el mundo, más flexible, con interfaces normalizadas, fácil de gestionar y rentable, fue lo que llevo al desarrollo de SDH, con el propósito de reemplazar la jerarquía existente (PDH), SDH se ha presentado como la red de transporte futura para los servicios de banda ancha, basados en tecnología como ATM.

<sup>9</sup> Redes de datos y convergencia IP, José Manuel Huidobro, pág. 192.



La primer jerarquía de velocidad síncrona fue definida como STM-1 (Synchronous Transport Module, Modulo de Transporte Síncrono) de 155.520 Mbps, el cual coincidía con el triple de la STS-1 de la red SONET ( $3 \times 51.84 \text{ Mbps} = 155.52 \text{ Mbps}$ ). Dentro de SDH los flujos de datos digitales de los sistemas básicos; mediante un proceso de entramado, forman velocidades de mayor velocidad y orden jerárquico superior, siendo las señales multiplexadas de orden superior (STM-4 = 622.080 Mbps y SMT-16 = 2.488.320 Mbps) múltiplos enteros de la velocidad básica (STM-1 = 155.520 Mbps).

Los multiplexores síncronos empaquetan las señales procedentes de la jerarquía plesiócrona en contenedores virtuales (VC) que poseen un tamaño uniforme. SDH se basa en la utilización del Modulo de Transporte Síncrono de 155.52 Mbps, cuatro de los cuales se intercalan para formar las velocidades mencionadas (STM-4 y STM-16).

Una vez que se ha encapsulado se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1. En la figura II.1 se muestra la multiplexación de la señal síncrona.

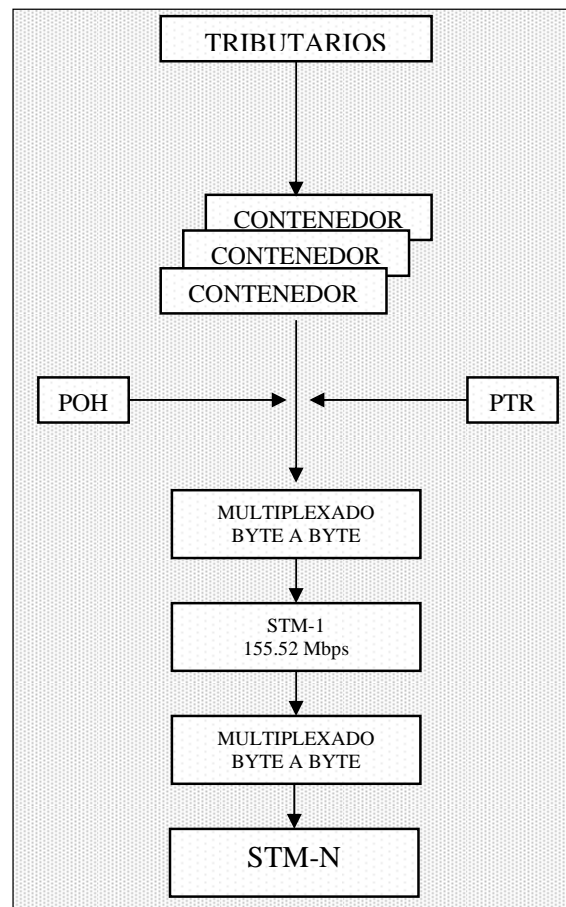


Figura II.1 Multiplexado byte a byte

Las señales tributarias ya sean sincrónicas o plesiócronas se acomodan en un contenedor que será distinto para cada velocidad, los contenedores serán los que proporcionen la transmisión de las señales procedentes de las distintas jerarquías.

La forma en como esta estructurado el sistema SDH es por medio de celdas, las primeras 9 filas y 9 columnas forman el encabezado que lleva la información que sirve para procesos de alarmas, administración y mantenimiento, para la sección multiplexora (MSOH), la sección de regeneradores (RSOH) y un puntero de un elemento llamada AU4 que contiene el VC4 que es donde se lleva la carga, el resto de las celdas es en donde se lleva la carga llamada PAYLOAD.

Para describir la estructura SDH, se debe empezar por la descripción de la señal STM-1; que es el elemento básico de SDH, esta señal comprende 2430 bytes de información. Esto está distribuido en 9 filas por 270 columnas. Dentro de ellos están contenidos la carga útil del STM-1, los punteros y las cabeceras de sección.

La información se envía iniciando por el bit más significativo del primer octeto de la primera fila y columna de izquierda a derecha hasta el octeto 270, se continua con la fila 2 del octeto 271 al 540, hasta terminar en la fila 9 del octeto 2430, este procedimiento se hace a una velocidad de 8,000 veces por segundo, por lo que la duración de un trama es de 125  $\mu$ s.

Cada trama que se forma durante este proceso se encapsula en un contenedor el cual es una estructura de forma de carga útil en donde se colocan las señales de información de la red englobada en el contenedor virtual (VC), este contenedor se dimensiona de manera que pueda transportar cualquiera de los niveles jerárquicos PDH, también proporciona la capacidad necesaria para transportar señales de banda ancha, además de señales que están basadas en celdas, como las de ATM.

A cada uno de los contenedores se les agrega un encabezado llamado tara de trayecto (TTY) o POH (Path Over Head) para operación, administración y mantenimiento, así como información sobre el estado del trayecto, canales, errores, etc.

Cuando se tiene toda la información en el contenedor se le agrega un octeto llamado encabezado con el cual se forma el contenedor virtual "VC", este contenedor virtual es la estructura de información usada para transportar o permitir conexiones de nivel de ruta SDH y se compone de la carga y los campos de información de ruta POH (Path Over Head) organizado en una estructura de trama de 125 o 500  $\mu$ s, la información de alineamiento utilizada para identificar el comienzo de la trama VC'n es proporcionada por los apuntadores del nivel de servicios de red.

Existen dos tipos de VC's, el de orden inferior que se compone de un solo contenedor del tipo C-m, en donde  $m = 1, 2 \text{ ó } 3$  y del POH del contenedor virtual de orden inferior correspondiente al nivel de que se este tratando (1,2, ó 3) y el de orden superior el cual se compone de un solo contenedor C-n, donde  $n = 3 \text{ ó } 4$  o de un conjunto de grupos de unidades tributarias de TUG2 o TUG3 junto con el POH del contenedor virtual de orden superior correspondiente al nivel 3 ó 4.

Una vez que se tiene el contenedor virtual se agrega un puntero (PTR), formándose lo que se conoce como Unidad Tributaria TU (Tributary Unit) la cual es una estructura de información que proporciona la adaptación entre el nivel de ruta inferior y el del orden superior, esta formada de una carga de información VC-m de orden inferior y el apuntador PTR el cual indica el desplazamiento (offset) del principio de la trama VC-m de orden inferior con respecto al principio de la trama VC-n de orden superior. El apuntador permite a la jerarquía SDH compensar diferencias de fase o frecuencia dentro de la red y de esta forma localizar el contenedor virtual.

Después de que se forman las unidades tributarias, se forma la Unidad Tributaria de Grupo, la cual está constituida por un conjunto de uno o más TU's, que ocupan posiciones fijas y definidas dentro de una carga de un VC-n de orden superior. Los TUG's están definidos de tal manera que las cargas de información de diferentes capacidades compuestas por las TU's de diferentes tamaños puedan ser mezcladas para incrementar la flexibilidad de la red de transporte.

Ya que se han formado y empaquetado los TUG's, se crean los Grupos de Unidades Administrativas (Administrative Unit Groups o AUGs), este empaquetado secuencial se puede realizar anidando pequeños contenedores virtuales junto con otros mayores, con el agregado de información adicional de administración de la red, se forma el módulo STM-1. Si se desean niveles superiores, basta con volver a multiplexar byte a byte N módulos STM-1, para obtener STM-N.

En resumen la construcción del área de carga STM está definida por la estructura mapeada. Las tasas de transmisión son mapeadas en los contenedores y en la cabecera (POH) esto para dar lugar al contenedor virtual (VC). Estos a su vez formarán las Unidades Tributarias (TU) que consisten en contenedores virtuales más el puntero y el puntero indicará la posición del contenedor virtual dentro de la TU. En la figura II.2 se muestra como está constituida la estructura SDH.

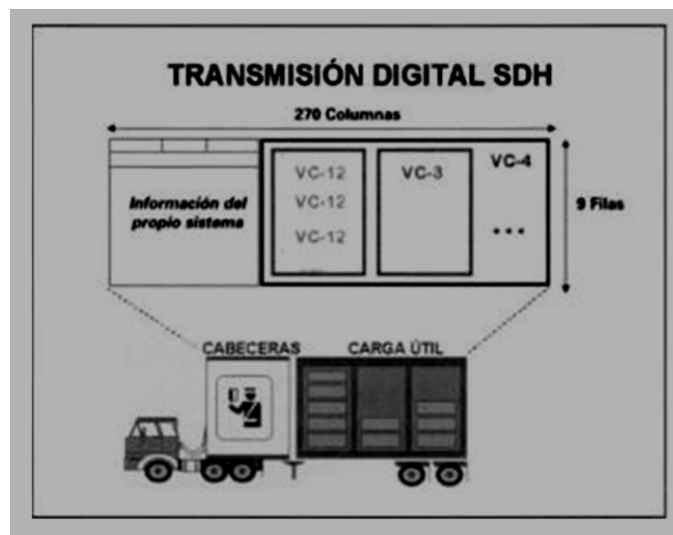


Figura II.2 Estructura SDH

La estructura de multiplexión SDH define cómo la información es estructurada para construir un marco STM-1.

Los contenedores son empaquetados en STM's por elementos de red. Para que los elementos de red en el extremo contrario extraigan un contenedor virtual, éste debe conocer la localización exacta del puntero dentro del área de carga útil del STM. Un puntero denota esta ubicación. En una red síncrona todo el equipamiento está sincronizado mediante un reloj único para toda la red. La temporización de una señal plesiócrona colocada dentro de un contenedor virtual puede variar en frecuencia o fase con respecto al reloj de red. Como resultado de esto, la localización de un contenedor virtual en una estructura STM puede no ser fija, por lo que el puntero asociado con cada contenedor virtual indica su posición dentro del área de carga útil del STM.

Las reglas SDH de multiplexión aseguran que la posición exacta de un contenedor virtual contenido en el área de carga útil puede ser identificado por cada nodo. Esto tiene la ventaja de que cada nodo puede directamente acceder a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga.

## II.2 TIPOS DE MULTIPLEXAJE

### *MULTIPLEXAJE SÍNCRONO*

El multiplexaje síncrono consta de una serie de diferentes etapas, comenzando por el mapeo de las tributarias en los contenedores, posteriormente se les agrega un encabezado de trayectoria POH y tenemos un VC, al VC agregamos un apuntador y se obtiene un TU (Unidad tributaria) después si se agrupan varias unidades tributarias se obtiene un TUG (Grupo de unidades tributarias).

En el caso del VC-4 y VC-3 se agrega un apuntador que genera una AU (Unidad administrativa), o un AUG (Grupo de unidades administrativas) que representan una o más unidades de transporte ocupando una locación fija en la carga útil de un STM-n, que pueden ser administradas a nivel de cada enlace entre equipos.

Las TU solo se pueden administrar en el origen y destino de su trayectoria.

### *MULTIPLEXAJE A DOS NIVELES*

El multiplexaje de bajo orden involucra la transformación de las tributarias de baja velocidad DS-1, DS-1E y DS-2 a TUG-2, pasando de contenedores, a contenedores virtuales y a unidades tributarias.

El multiplexaje de alto orden, incluye la multiplexación de tributarias de alto nivel DS-3E, DS-3, DS-4E; así como también TUG-2, dentro de VC-3 ó VC-4 y posteriormente en AU-3 ó AU-4 dentro de un AUG, como se muestra en la figura II.3.

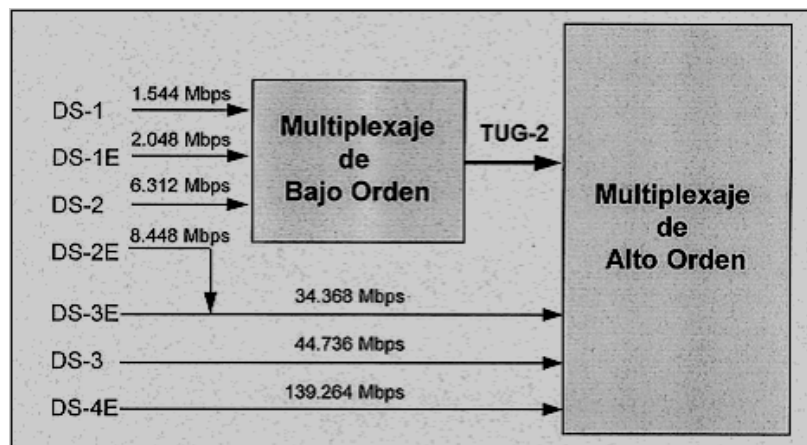


Figura II.3 Multiplexaje a dos niveles

En este tipo de multiplexaje la tributaria DS-2E se incorpora directamente al DS-E antes de ser mapeada.

**MULTIPLEXAJE DE UN C4 EN UN AU4**

Dentro del Contenedor 4 (C4) se le agrega un encabezado de trayectoria para formar un contenedor virtual VC-4; a éste se le agrega el apuntador que va en el encabezado de sección para su alineamiento respecto a la trama STM-1 para formar un AU-4, en la figura II.4 se ilustra este procedimiento para la obtención de la AUG-4.

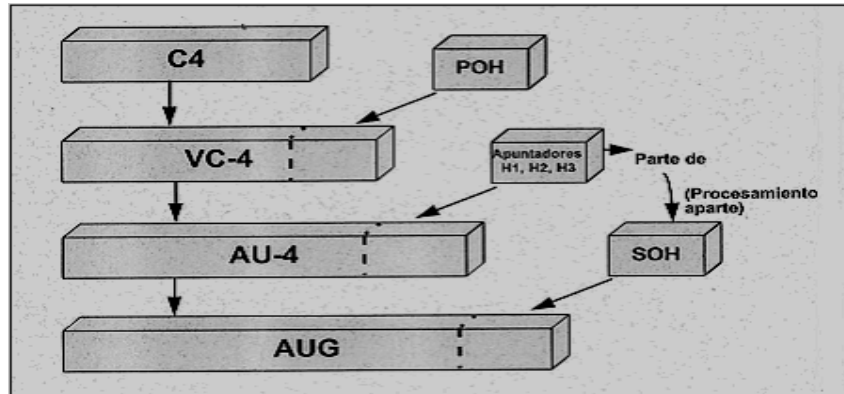


Figura II.4 Multiplexaje de un C4 en un AU4

A la AU-4 se le agrega un encabezado de sección y se obtiene finalmente la AUG-4.

**MULTIPLEXAJE DE UN C3 EN UN AU3**

Para este tipo de multiplexación al contenedor C3 se le agrega un encabezado de trayectoria y se obtiene un contenedor virtual VC-3, a éste se le agrega el apuntador H1, H2 y H3 del encabezado de sección para obtener la AU-3, la asociación de los tres apuntadores con cada AU-3 y la Información de Administración de sección para el AUG contiene las tres AU-3, este proceso de multiplexación se muestra en la figura II.5.

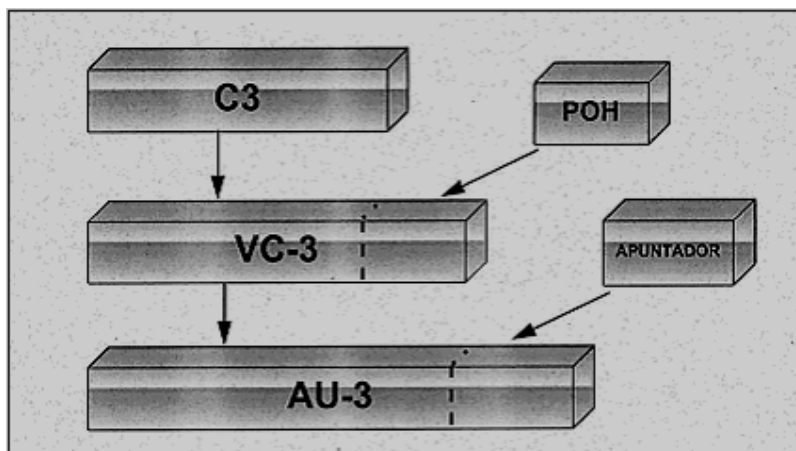


Figura II.5 Multiplexaje de un C3 en un AU3

**MULTIPLEXACIÓN DE 3 AU-3 EN AUG**

Cuando se tienen tres AU-3 y se quieren multiplexar en un AUG, el procedimiento a seguir consiste en acomodar las primeras partes de los apuntadores de cada unidad administrativa intercalándolas hasta llenar el espacio con los 9 bytes, como se muestra en la figura II.6.

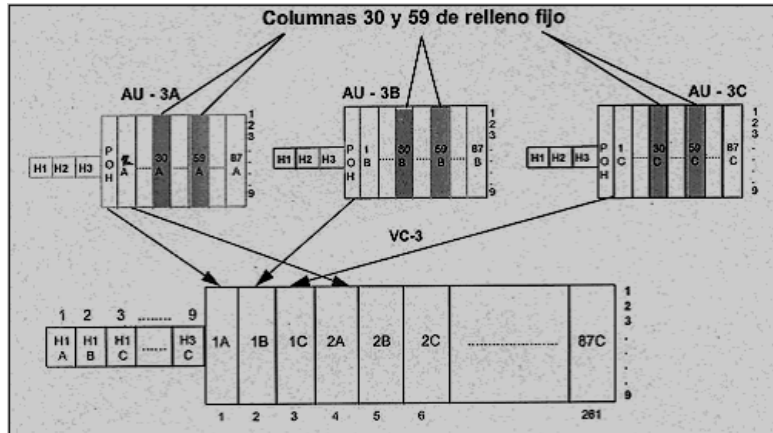


Figura II.6 Multiplexaje de 3 AU-3 en un AUG

Después de llenar los 9 bytes, se realiza otro intercalado de los octetos para llenar el espacio asignado para la información ocupando 261 columnas de 9 bytes. La transmisión de los AU ó TUG en la trama básica STM-1 siempre es por columnas de 9 bytes hasta llenar las 270 columnas.

**MULTIPLEXAJE DE UN TU-3 EN TUG-3**

Una unidad tributaria se caracteriza por ser una entrada desde el mundo PDH a una transmisión conjunta de varias de ellas en una unidad administrativa. Para lograr esto se mapea en la unidad tributaria TU-3 y la carga útil del grupo de unidades tributarias, el cual tiene una capacidad de 86 columnas de 9 bytes cada una. Al agregarle al Contenedor Virtual VC-3 el señalador que consiste en los 3 bytes H1, H2 y H3, y 6 bytes de relleno en la primer columna se obtiene la Unidad Tributaria TU-3 en un VC-3, esto se muestra en la figura II.7.

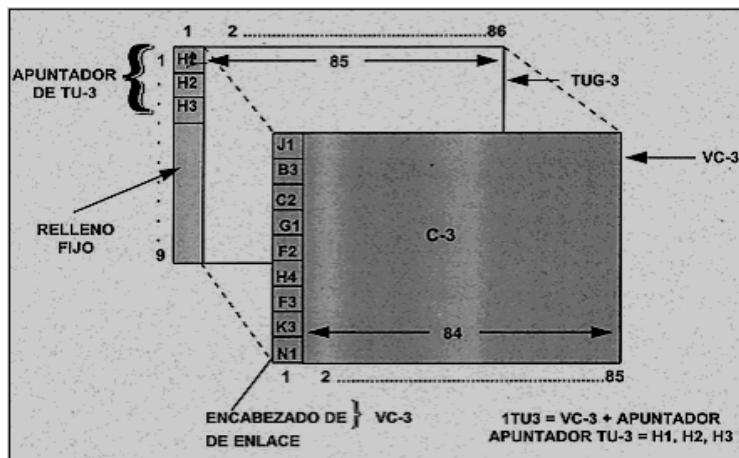


Figura II.7 Multiplexaje de un TU-3

**MULTIPLEXAJE DE 3 TUG-3**

Tres grupos de unidades tributarias, se pueden multiplexar para formar un VC-4, agregando un encabezado de trayectoria POH y 2 columnas de relleno fijos, como ya se sabe se tienen que escalonar las 86 diferentes columnas de 9 bytes de cada TUG-3, hasta ocupar los 261 columnas, como se muestra en la figura II.8.

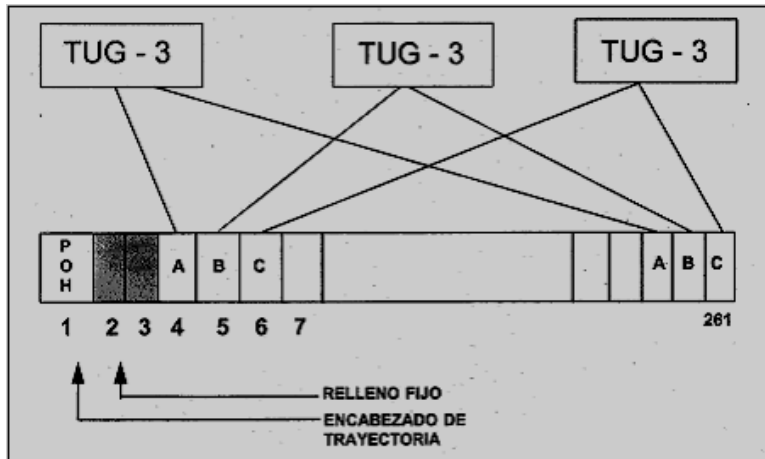


Figura II.8 Multiplexaje de 3 TUG-3

Es importante señalar que la AU-4 que contiene estos TUG-3 no lleva apuntador ya que cada TU tiene el suyo propio.

**II.3 EL ÁREA DE CARGA ÚTIL**

El área de carga útil es la reservada a los datos o información del usuario. Los canales tributarios individuales se transportan en este campo y pueden ser afluentes procedentes de todos los niveles de SDH.<sup>10</sup>

El área de carga útil esta compuesta por un arreglo de 9 por 261 bytes en los que esta contenida la información de los tributarios en forma de contenedores virtuales. Estos contenedores se empaquetan según la estructura de multiplexión, en la figura II.9 se muestra el área de carga útil.

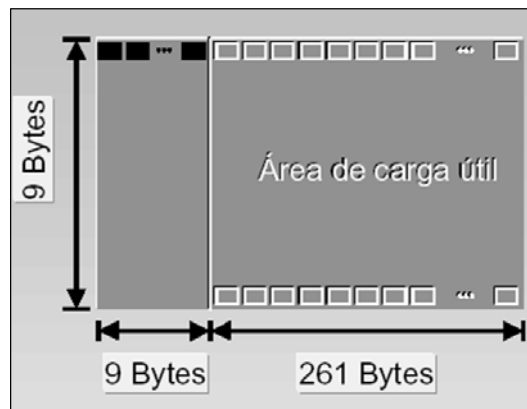


Figura II.9 El Área de carga útil

<sup>10</sup> Sistemas de telefonía José Manuel Huidobro Moya, Ed. Thomson, pag. 241



La carga útil puede estar formada por señales de todos los niveles de PDH las cuales pueden ser acomodadas en SDH empaquetándolas dentro de la trama STM-1, el proceso de empaquetar las señales PDH involucra un número de diferentes estructuras.

En cada uno de los contenedores se asocia los bytes del POH que facilitan el manejo y control de flujo de información extremo a extremo que proporcionan flexibilidad a la red.

#### II.4 MODULO DE TRANSPORTE SINCRONO DE ORDEN 1 (STM-1)

El módulo básico en un enlace SDH es la trama STM-1 la de menor velocidad, de aquí se originan los demás módulos de mayor velocidad, lo cual deja a este como el módulo básico, la forma de representar la trama STM-1 es mediante una matriz o celdas la cual se forma de 2430 bytes, es decir, 9 renglones por 270 columnas como se ilustra en la figura II.10.

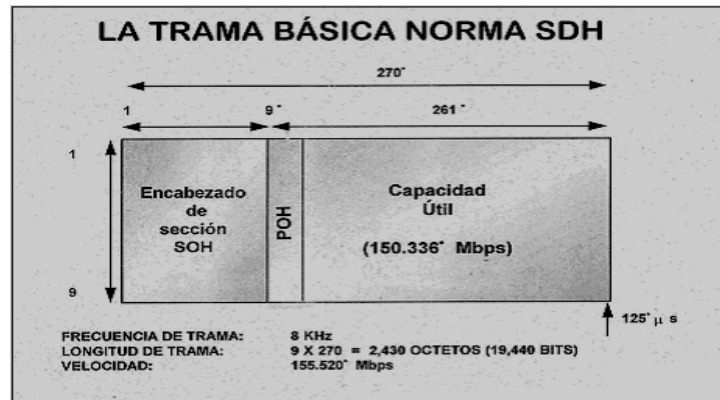


Figura II.10 La trama STM-1

Las primeras 9 filas y 9 columnas forman lo que se llama el encabezado que contiene diversa información que sirve para procesos de alarmas, administración y mantenimiento, para la sección multiplexora (MSOH), para la sección de regeneradores (RSOH) y un puntero de la AU4 que contiene el VC4. Las 9 filas y las 261 columnas restantes forman y llevan la carga útil (PAYLOAD).

La forma en como la información es enviada se realiza iniciando por el bit más significativo del primer octeto de la primera fila y primera columna de izquierda a derecha hasta el octeto 270, se continua con la fila 2 del octeto 271 al 540 y así sucesivamente hasta terminar en fila 9 octeto 2430. Este procedimiento se hace a una velocidad de 8000 veces por segundo por lo que la duración de una trama es de 125 μs.

La trama STM-1 se compone de dos partes principales: la administración en el SOH (Section Overhead) Encabezados de Sección y la Capacidad Útil que se administra por el Encabezado de Trayectoria (POH) de alto orden. Se puede decir que en los Encabezados de Sección va implícita casi toda la información de administración del sistema de transmisión entre equipos punto a punto y el POH lleva la información de administración sobre las pistas origen / destino de los canales en la Capacidad Útil. La sincronía de la trama es igual a la del canal de 64 Kbps.

La trama STM-1 se forma a partir del contenedor, el cual es un bloque de transporte diseñado para el mapeo de una trama PDH específica a una trama SDH. La construcción de la trama es definida por la estructura mapeada en contenedores. El contenedor "C" es la estructura que forma la carga útil en la cual se colocan las señales de información de la red síncrona, este se dimensiona de manera que pueda transportar cualquiera de los niveles jerárquicos PDH,



también proporciona la capacidad necesaria para transportar señales de banda ancha, además de las señales basadas en celdas como las de ATM.

Existen 5 tipos de contenedores para transportar señales:

CONTENEDOR	VELOCIDAD BINARIA	
	NORMA EUROPEA	NORMA AMERICANA
C11		1544 Kbps
C12	2048 Kbps	6131 Kbps
C2		
C3	34 368 Kbps	44 736 Kbps
C4	139 264 Kbps	

Una vez que se tiene la información en el contenedor se le añade un octeto que contiene información de administración origen-destino conocida como Encabezado de Trayectoria (POH) lo cual genera o forma el contenedor virtual (CV).

El contenedor virtual es una estructura de información usada para transportar o permitir conexiones de nivel de ruta SDH, se compone de la carga de información (contenedor) y de los campos de información de ruta POH (Path Over Head) organizado en una estructura de trama de 125 o 500  $\mu$ s, en la figura II.11 se muestra como se forma el contenedor virtual.

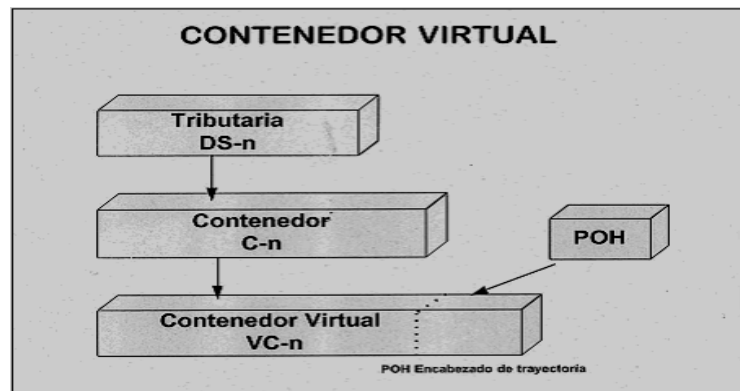


Figura II.11 El Contenedor Virtual

Las reglas SDH de multiplexión aseguran que la posición exacta de un contenedor virtual contenido en el área de carga útil puede ser identificado por cada nodo. Esto tiene la ventaja de que cada nodo puede directamente acceder a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga.

Existen 2 tipos de CV's:

DE ORDEN INFERIOR VC-m (m = 1,2 ó 3)

Este elemento se compone de un solo contenedor del tipo C-m en donde m = 1, 2 ó 3 y del POH del contenedor virtual de orden inferior correspondiente al nivel de que se este tratando (1,2, ó 3)

DE ORDEN SUPERIOR VC-n (n = 3 ó 4)

Este elemento se compone de un solo contenedor C-n donde  $n = 3$  ó  $4$  o de un conjunto de grupos de unidades tributarias de TUG2 o TUG3 junto con el POH del contenedor virtual de orden superior correspondiente al nivel 3 ó 4.

Después de que se forma el CV y se le agrega un puntero se forman las unidades tributarias (TU's) en las cuales el puntero indica la posición del contenedor virtual dentro de la unidad tributaria.

Una unidad tributaria (TU) es una estructura de información que proporciona la adaptación entre el nivel de ruta inferior y el de orden superior y consiste de una carga de información VC-m de orden inferior y un apuntador PTR el cual indica el desplazamiento (offset) del principio de la trama VC-m de orden inferior con respecto al principio de la trama VC-n de orden superior. El apuntador permite compensar diferencias de fase o frecuencia dentro de la red SDH y localizar el contenedor virtual. Después de que es formada la unidad tributaria es empaquetada en grupos formando TUG's.

El término TUG se usa para definir un conjunto de uno o más TU's que ocupan posiciones fijas y definidas dentro de una carga de un VC-n de orden superior. Los TUG's están definidos de tal manera que las cargas de información de diferentes capacidades compuestas por TU's de distintos tamaños puedan ser mezcladas para incrementar la flexibilidad de la red de transporte.

Otra estructura de información importante dentro de la trama STM-1 son las unidades administrativas, las cuales proporcionan la adaptación entre el nivel de ruta de orden superior y el nivel de sección de multiplexaje y se compone de una carga de información (un VC'n de orden superior) y del apuntador AU que indica el desplazamiento del principio de la trama VC'n de orden superior respecto al principio de la trama de la sección de multiplexaje STM-n.

La Unidad Administrativa es una trama de transporte síncrona de fase fija definida en el Módulo de Transferencia Síncrona 1 (STM-1) en la que se agrupan y "localizan" las tramas de fase variable, incluye el uso de apuntadores en el Encabezado de Sección (SOH) para localizar el inicio de los VC-n. A partir de estas unidades se forman los grupos de unidades administrativas (AUG's) que son tramas de transporte conformadas por un conjunto específico de AU's que ocupan posiciones fijas y definidas en una carga STM-n, estas AUG's se administran por el encabezado de sección (SOH).

Los AUG's se determinan por niveles de acuerdo al orden de STM que va a transportar y se puede observar en la siguiente tabla:

Tipo de AUG	Nivel de STM	Cantidad de AUG
AUG1	STM1	1
AUG4	STM4	4
AUG16	STM16	16
AUG64	STM64	64
AUG256	STM256	256

De esta manera es como se forma la estructura del Modulo de Transporte Síncrono (STM-1), esta es la estructura de la información usada para soportar las conexiones de nivel SDH y se compone de una carga de información y los campos de información de SOH organizados en una trama de ciclos repetidos cada 125µs.

Una trama STM básica esta definida a 155 520 Mbps y se conoce como un STM1, mientras que los STM<sup>n</sup> de mayor capacidad están formados a velocidades de transmisión que son múltiplos de esta velocidad.

Las diferentes velocidades de SDH se definen de acuerdo a los siguientes valores:

STM-N	VELOCIDAD	CANTIDAD DE STM1
STM-1	155.520 Mbps	1
STM-4	622.080 Mbps	4
STM-16	2 488.320 Mbps	16
STM-64	9 953.280 Mbps	64
STM-256	39 813.120 Mbps	256

A continuación se enlista la velocidad en cada uno de los elementos de un SDH de nivel STM1:

Elemento	Filas	Columnas	Octetos	Velocidad Mbps
C11			24	1.664
C12			34	2.176
C2			106	6.784
C3	9	84	756	48.384
C4	9	260	2340	149.760
VC11	9	3	27	1.728
VC12	9	4	36	2.304
VC2	9	12	108	6.912
VC3	9	85	765	48.960
VC4	9	261	2349	150.336
TU11	9	3	27	1.728
TU12	9	4	36	2.304
TU2	9	12	108	6.912
TU3	9	86	774	49.536
AU3	9	87	783	50.112
AU4	9	261	2349	150.336
AUG	9	270	2430	155.520
STM-1	9	270	2430	155.520

La descripción mencionada anteriormente de cómo se forma una trama STM-1, se puede resumir en una serie de diferentes etapas comenzando por el mapeo de las tributarias en los contenedores, posteriormente se les agrega un encabezado de trayectoria POH y tenemos un VC, al VC agregamos un apuntador y se obtiene un TU (Unidad tributaria), si agrupamos varias unidades tributarias obtenemos un TUG (Grupo de unidades tributarias); para el caso del VC-4 y VC-3 se agrega un apuntador que genera una AU (Unidad administrativa), o un AUG (Grupo de unidades administrativas) que representan una o más unidades de transporte ocupando una locación fija en la carga útil de un STM-n, la cuales pueden ser administradas a nivel de cada enlace entre los equipos.

El procedimiento de cómo se forma la trama STM-N se muestra en la figura II.12.

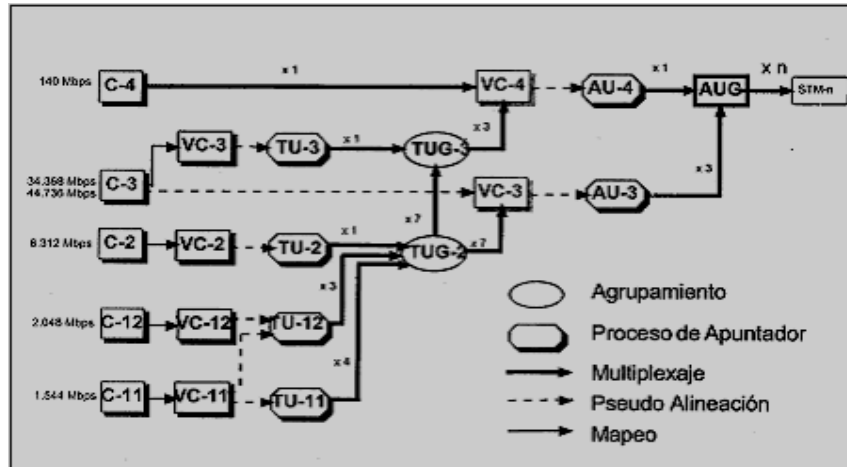


Figura II.12 Formación de una trama STM-N

De acuerdo con las reglas de multiplexación, una trama STM-1 se puede constituir de varias formas, los VC-4 que formarán la carga útil pueden contener una señal PDH de 140 Mbps, tres señales PDH de 34 Mbps, 63 señales PDH de 2Mbps o combinaciones de ellas, de modo que la capacidad total no sea excedida. Cuando se requieren tasas de transmisión mayores que las que brinda STM-1, éstas son obtenidas usando un esquema de concatenación de bytes, alcanzando tasas de 622 Mbps (STM-4), 2.5 Gbps (STM-16) y 10 Gbps (STM-64).

## II.7 PARIDAD

Cada que se realiza un envío de datos, es necesario supervisar la calidad de la transmisión y esto se puede hacer utilizando la **paridad par**, esto por medio del método llamado Paridad Intercalado de Bit (BIP Bit Interleaved Parity).

Los bytes que se utilizan para el monitoreo de errores es el B1 y B2, el primero dentro de la sección regeneradora, mientras que el otro dentro de los multiplexores. El byte B1 y B2 se recalculan en cada regenerador y en cada multiplexor respectivamente definiendo si existió algún error en la información, en la figura II.13 se puede observar el cálculo de los bytes B1 y B2.

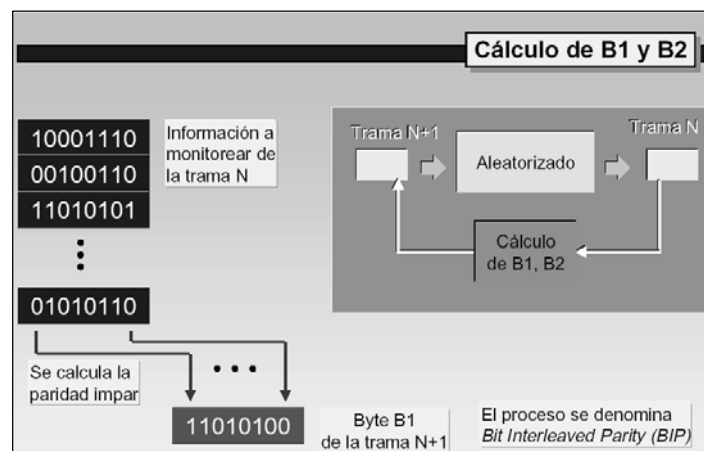


Figura II.13 Cálculo de los bytes B1 y B2

Durante el método de Bit Interleaved Parity (BIP) el transmisor hace un cálculo de paridad de la información enviada, la agrupa en columnas, se hace el cálculo de paridad por cada una de ellas y el resultado se coloca en los bits de los bytes asignados para el BIP, agregándolos a la información de la siguiente trama.

El receptor al recibir los datos hace el mismo cálculo de paridad de la información de la trama recibida y la compara con la paridad calculada por el transmisor; información que le llega en la siguiente trama.

Una vez realizado el proceso, si existe una diferencia entre el cálculo de paridad del transmisor con la del receptor significa que hubo errores.

Se considera paridad cuando la cantidad de 1's es par y no-paridad cuando es non, al hacer la comparación de las columnas si se detecta que los 1's son par se coloca un 0 y si no hay par se coloca un 1.

Por ejemplo, para un BIP 8:

1	0	1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

El resultado obtenido (**11011001**) se inserta en el byte B1 del RSOH o en el byte B3 del POH del VC3 y/o VC4.

Para la verificación de un STM-4 se usa el BIP 96 y se toman 12 octetos B2 del MSOH, esto se forma de los 3 octetos B2 de cada uno de los 4 SMT-1, para verificar un STM-16 se usa el BIP 384 y se toman 48 octetos B2 del MSOH, es decir, 3 octetos B2 de cada uno de los 16 STM-1.

Se tienen varios tipos de Bip en SDH y son indicados por la cantidad de bits que se toman de la trama para ser verificados, como a continuación se muestra:

<i>BIP 2 en V5 TU12</i>	<i>Bits 1 y 2</i>	
<i>BIP 8 en B1 RSOH</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	
<i>BIP 8 en B3 POH VC3</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	
<i>BIP 8 en B3 POH VC4</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	
<i>BIP 24 en B2 MSOH</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	<i>Se toman 3 Bytes B2 en un STM 1</i>
<i>BIP 96 en B2 MSOH</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	<i>Se toman 12 Bytes B2 en un STM 4</i>
<i>BIP 384 en B2 MSOH</i>	<i>Bits 1 a 8</i>	<i>Se toman 48 Bytes B2 en un STM 16</i>

Una vez que se ha realizado la comparación de columnas y se obtiene la paridad, la indicación de si hubo errores o no y en su caso la cantidad de los mismos se coloca en los bits de los bytes asignados para este fin de acuerdo al nivel y como se muestra a continuación:

<i>BIP 2</i>	<i>Bit 3</i>	<i>V5 (TU12)</i>	<i>REI o FEBE</i>	<i>Remote Error Indication</i>
<i>BIP 8</i>	<i>Bit 1 a 8</i>	<i>B1</i>		
<i>BIP 8</i>	<i>Bits 1 a 4</i>	<i>G1 (VC3)</i>	<i>FEBE</i>	<i>Far End Block Error</i>
<i>BIP 8</i>	<i>Bits 1 a 4</i>	<i>G1 (VC4)</i>	<i>FEBE</i>	<i>Far End Block Error</i>
<i>BIP 24</i>	<i>Bits 4 a 8</i>	<i>M1</i>	<i>FEBE</i>	<i>Far End Block Error</i>
<i>BIP 96</i>	<i>Bits 2 a 7</i>	<i>M1</i>	<i>FEBE</i>	<i>En trama 1 de STM4</i>
<i>BIP 384</i>	<i>Bits 2 a 7</i>	<i>M1</i>	<i>FEBE</i>	<i>En tramas 3,4 y 9 de STM16</i>

La variada gama de señales de alarma y comprobación de paridad que son incorporadas a las señales SDH permiten realizar con eficiencia pruebas de servicio, las principales condiciones de alarma son pérdida de señal (LOS), pérdida de trama (LOF) y pérdida de puntero (LOP); estas alarmas provocan la transmisión de señales de indicación de alarmas (AIS) a la siguiente etapa de proceso, en la figura II.14 se muestran los bip's de alarma en SDH.

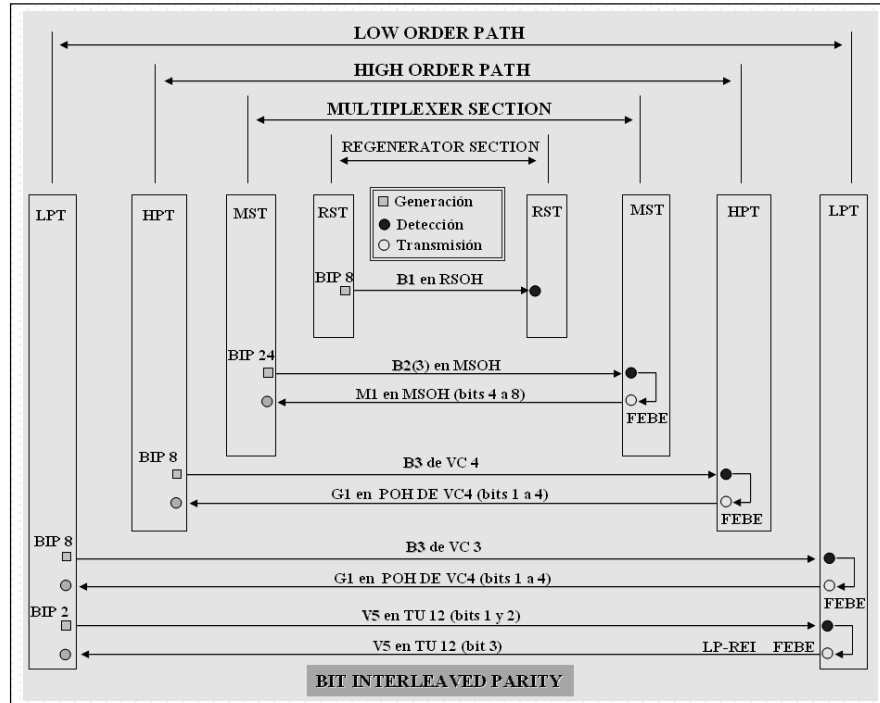


Figura II.14 Señales de alarma en SDH

En respuesta a las diferentes señales AIS y a la detección de graves condiciones de alarma receptor, se envían otras señales de alarma a las anteriores etapas del proceso para notificar los problemas detectados en las siguientes etapas, a esta señal se le llama *fallo de recepción en extremo remoto* (FERF), esta se envía a etapas anteriores en el SOH de la sección multiplexora que haya detectado una alarma AIS, LOS o LOF.

El monitoreo de cada nivel de mantenimiento se basa en las comprobaciones de paridad, como ya se mencionó, este cálculo se realiza en cada trama, estas comprobaciones se insertan en los SOH asociados a la sección de regeneración, la sección de multiplexación y los tramos de trayecto, de igual forma, los equipos que terminan en tramos de trayecto de orden superior o inferior producen señales de *error en bloque en extremo remoto* (FEBE) en función de los errores detectados en los BIP's.

En la figura II.15 muestra en donde se insertan los BIP's.

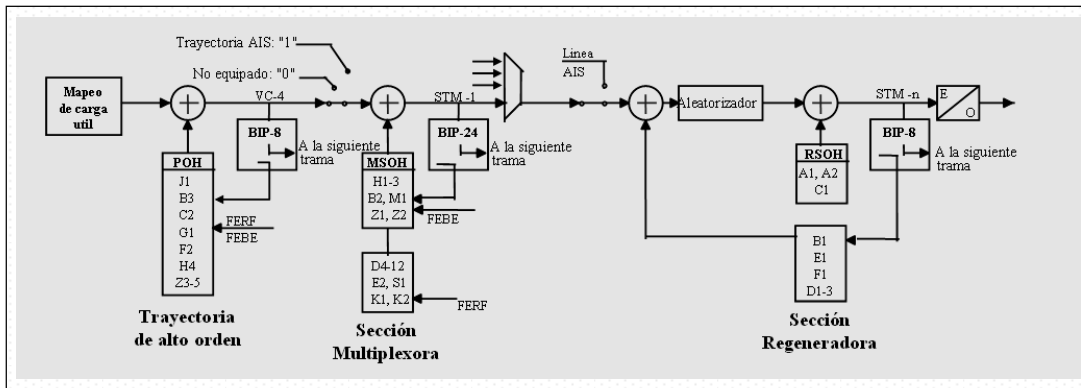


Figura II.15 Inserción de bip's

## II.8 SINCRONÍA EN SDH

En los sistemas PDH se debe tener una exactitud de frecuencia para cada una de las velocidades binarias, esto de acuerdo a lo establecido por la UIT, estos requerimientos pueden ser satisfechos con el uso de osciladores internos, que pueden funcionar sin necesidad de sincronización por parte de una fuente externa común.

Cada uno de los sistemas PDH adaptan su velocidad en el multiplexor utilizando los procesos de justificación, no existe acumulación de tolerancias de frecuencia, de manera que la velocidad de transmisión original es recobrada a la salida del multiplexor, las variaciones de fase de la señal de reloj debidas a las adaptaciones de reloj (Jitter) pueden ser reducidas usando lazos de amarre de fase (PLL).

Las centrales digitales deben operar de manera que tengan sincronía cuando menos dentro de los límites de dominio del operador para evitar deslizamientos (SLIPS), por lo que todos los relojes de los diferentes nodos de conmutación de la red tienen que estar sincronizados con un reloj de referencia primaria (PRC). La distribución del reloj entre las centrales de conmutación digitales se hace a través de los sistemas de transmisión de 2,048 Mbps.

El equipo SDH opera de forma similar de manera que exista sincronía, por lo que se requiere de una adecuada sincronización entre los relojes de los nodos jerárquicos que evite el procesamiento intermedio de apuntadores en condiciones normales.

Para garantizar una calidad mínima para conexiones internacionales y diferentes operadores, la UIT toma como referencia para los requerimientos de exactitud de los PRC's el tiempo universal Standard o UTC (Universal Time Coordinate)

Es de suma importancia que dentro de una red SDH exista realmente sincronía, si no se garantiza ésta, puede producirse una degradación considerable en el funcionamiento de la red e incluso puede llegar a producir un fallo total, para evitar estas situaciones, todos los elementos de la red están sincronizados respecto a un reloj central, la sincronía en la red se genera mediante el reloj de referencia primario de alta precisión (PRC). Dicho reloj debe distribuirse por toda la red, para ello se recurre a una estructura jerárquica, siendo las unidades de sincronización (SSU) y los relojes de equipos síncronos (SEC) quienes transfieren la señal, esto se muestra en la figura II.16, además las señales de sincronización circulan por los mismos circuitos que las comunicaciones SDH.

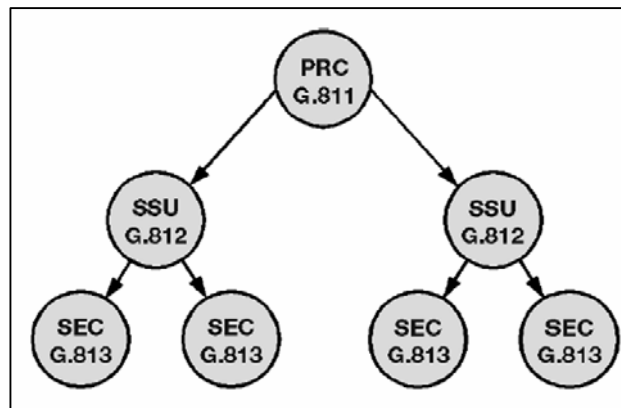


Figura II.16 Sincronía en SDH

El reloj primario (PCR) es de alta precisión ( $<1 \times 10^{-11}$ ) y está definido por la recomendación G.811, las señales de este reloj son transmitidas al resto de la red, primero a los SSU bajo la recomendación G.812 y después a los SEC bajo la recomendación G.813 y las trayectorias que se utilizan pueden ser las mismas que se utilizan para la transmisión de datos.

La señal de reloj se genera en las SSU y en los SEC con la ayuda de bucles enganchados en fase (PLL), si falla la fuente de reloj, el elemento afectado conmuta a otra fuente de reloj de igual o menor calidad, en caso de no ser posible pasa al modo “holdover”, cuando ocurre esto, la señal de reloj se mantiene relativamente precisa controlando el oscilador aplicando valores de corrección de frecuencia almacenados durante las últimas horas y teniendo en cuenta la temperatura del oscilador. Cuando ocurren problemas se deben evitar las “islas de reloj” ya que con el paso de tiempo podrían llevar a la pérdida del sincronismo y al fallo total de la red. Estas islas se evitan comunicando los elementos de la red con la ayuda de mensajes de estado de sincronización (SSM). El SSM informa al elemento vecino sobre el estado de la fuente de reloj utilizada para generar la señal por este recibido y es parte de la cabecera de la sección de multiplexación.

Los elementos de la red SDH pueden compensar desplazamientos de reloj hasta ciertos límites mediante operaciones con punteros, en este tipo de situaciones los punteros son un buen indicador de problemas con la fuente de reloj.



En las redes SDH la sincronía es transmitida con los módulos STM-N, por lo cual se requiere de una alta precisión en los relojes, en la figura II.17 se muestra como se transporta la sincronía en SDH.

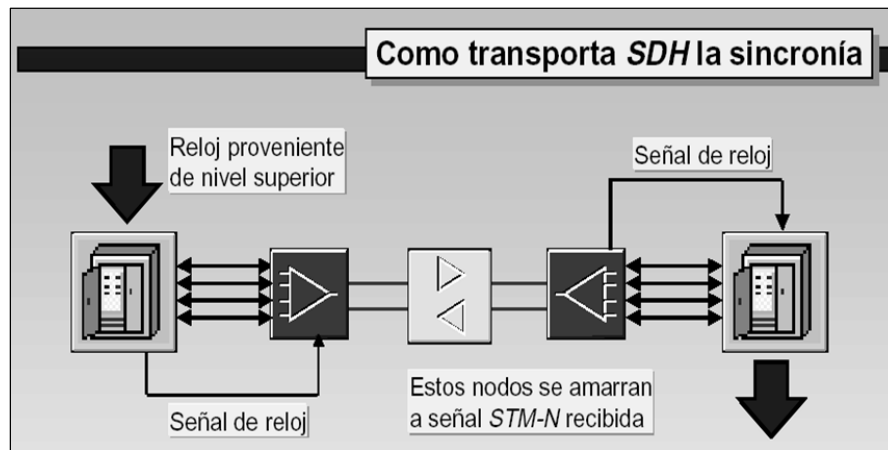


Figura II.17 Transporte de sincronía en SDH

Algunas de las alteraciones de fase que afectan a las redes SDH son el Jitter y el Wander las cuales son variaciones de ritmo (fase) entre una señal de referencia conocida como reloj y una señal de ritmo variable y nominalmente similar. La diferencia en ritmo da como resultado un defasamiento variable en un instante específico de tiempo.

El fenómeno de Jitter es una variación en la cantidad de tiempo que tarda un segmento en llegar a su destino y el fenómeno Wander se trata de variaciones aleatorias de gran longitud de onda que tiene una señal sobre su posición ideal.

Aunque son el mismo fenómeno la diferencia entre el Jitter y Wander es la velocidad con que se da el cambio de fase o que tipo de frecuencia de cambio correspondía a esa velocidad. El Wander es un fenómeno con contenidos de frecuencia menor a 10 Hz y el Jitter empieza en lo 100 Hz, en la figura II.18 se muestra el comienzo de las alteraciones Jitter y Wander.

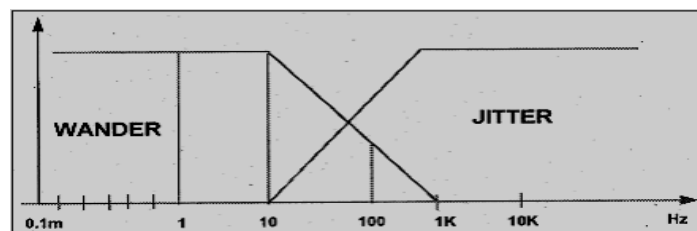


Figura II.18 Las alteraciones Jitter y Wander

En la adaptación o mapeo de una señal PDH al módulo de transferencia Síncrono (STM-1) se utiliza el principio de bits de relleno, aunque en SDH se tienen muchas más oportunidades de justificación por lo que la frecuencia del Jitter de justificación aumenta mejorando la calidad de la señal, en la siguiente figura II.19 se muestra la utilización de los bits de relleno.

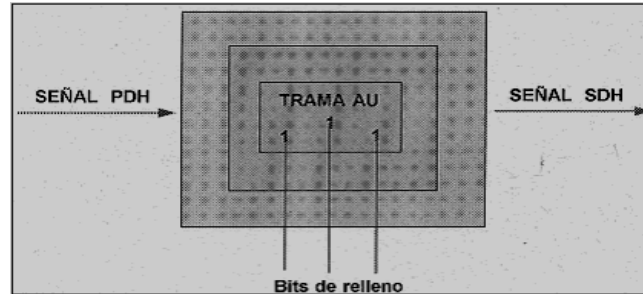


Figura II.19 Los bits de relleno

Los elementos involucrados en el proceso de mapeo son la unidad de referencia de sincronía (SSU) que es el equipo externo en la central responsable de derivar la sincronía del reloj maestro y el sistema de sincronía del equipo que hace lo propio para cada equipo en particular; la diferencia de sincronía o ritmo (fase) entre los relojes derivados de cada uno ocasionan, al igual que en PDH, necesidad de bytes de relleno.

Debido a que las redes de transmisión se han desarrollado sobre PDH, éstas no necesitan sincronización, sin embargo, la operación con sincronía de una red proporciona ventajas importantes como lo son que cada nodo de la red primaria cuenta con una fuente de reloj propia, los nodos primarios dan la sincronía a los nodos secundarios y todos los equipos cuentan con la misma fuente de reloj.

## **CAPÍTULO III**

# **“APUNTADORES Y ENCABEZADOS”**

### III.1 APUNTADORES

Una parte importante dentro de los contenedores virtuales son los apuntadores o punteros, estos facilitan el multiplexaje y demultiplexaje, gracias a que cada byte de cualquier tributaria en una trama STM'n es fácilmente calculado por medio de estos.

Dentro de las señales SDH es condición fundamental que antes de proceder a la multiplexación se efectuó la alineación de los punteros, esto no quiere decir que la señal se retrase; esto no es posible, se debe tener en cuenta que la información contenida en el PAYLOAD es información que debe ser transmitida en tiempo real, lo que se hace es cambiar el contenido del puntero reacomodando la posición a la cual debe apuntar, el lugar donde comienza el PAYLOAD, es decir; el PAYLOAD tiene libertad para deslizarse dentro del VC pero siempre es apuntado por el puntero correspondiente.

Los apuntadores permiten la operación de tipo plesiócrona de los VC's dentro de la red síncrona, esto debido a que es necesario compensar las diferencias de sincronía que pueden surgir cuando algún nodo pierde la referencia de sincronía de red y opera utilizando el reloj interno propio.

Los bytes apuntadores de AU (bytes H1, H2, H3) no son parte de la sección multiplexora, sin embargo son procesados por un equipo terminal de sección multiplexora<sup>11</sup>. Los apuntadores de AU suministran el enlace entre el excedente de sección y el o los contenedores virtuales asociados. Para cada STM-1 se suministran apuntadores independientes en una trama STM-n, los apuntadores proporcionan el apoyo necesario para la capacidad de integración de redes en SDH.

Los apuntadores de AU y TU proporcionan un método que permite el alineamiento dinámico y flexible de VC's dentro de las tramas AU y TU por lo que el VC puede "flotar" dentro de la trama AU o TU de forma que los valores del apuntador describen o muestran la posición inicial de los VC's flotantes dentro de la carga de información de las tramas y que son recalculadas en cada nodo.

El apuntador contenido en los bytes H1 y H2 en AU4, H1 y H2 en TU3 y V1 y V2 en TU12 designan la localización del byte donde inicia el VC y el valor del apuntador se encuentra en los 10 últimos bits de H1 y H2 o V1 y V2.

Los valores de los apuntadores serán los siguientes para cada uno de los elementos.

Tipo	Bits 5 y 6	Bits 7 al 16
AU 4	10	0 – 782
AU 3	10	0 – 782
TU 3	10	0 – 764
TU 2	00	0 – 427
TU12	10	0 – 139
TU11	11	0 - 103

<sup>11</sup> Introducción a las telecomunicaciones modernas, Enrique Herrera, pág. 352.

En la figura III.1 se ilustra la posición que ocupa el puntero AU 4 dentro del contenedor virtual.

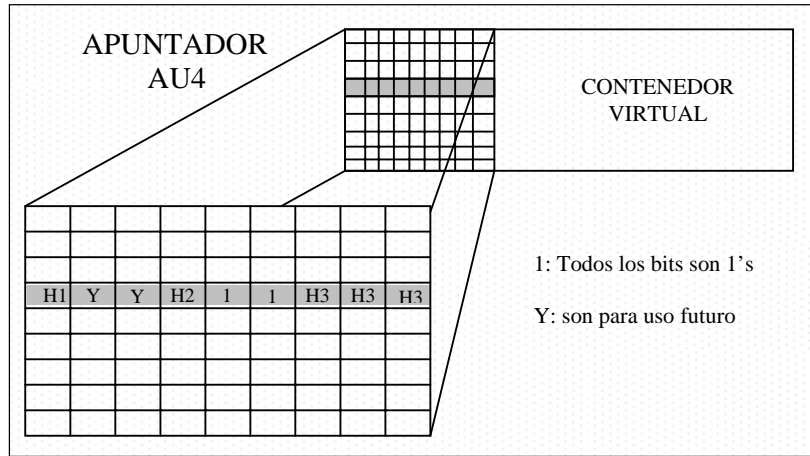


Figura III.1 Posición del Apuntador AU-4

Los bytes H1 y H2 indican el comienzo del VC4, los bytes H3 y los tres bytes siguientes permiten ajustar la velocidad del VC4.

### III.2 INTERPRETACIÓN DE APUNTADES

Gracias a la utilización de apuntadores se facilita el multiplexaje y demultiplexaje de una señal STM-N, ya que cada byte puede ser fácilmente calculado por medio de uno o más apuntadores.

También permiten operaciones del tipo plesiócrono de los VC's dentro de la red síncrona, lo cual es de suma importancia para compensar diferencias de sincronía que se pueden producir cuando algún nodo pierde la referencia de sincronización de la red y opera utilizando su propio reloj interno.

Los apuntadores de AU y TU proporcionan un método que permite el alineamiento dinámico y flexible de VC's dentro de las tramas de AU y TU.

Para interpretar los apuntadores supondremos que el apuntador se localiza en cualquier lugar dentro de la trama STM-1 de SDH, cuando el valor del apuntador se incrementa los bits marcados como "I" cambian al valor contrario al que tiene, por ejemplo; si es 1 cambia a 0 y viceversa.

En el caso de que el apuntador decremente entonces los bits marcados con "D" son los que invierten su valor, para ejemplificar lo anterior observar la siguiente tabla:

H1								H2							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Valor hexadecimal de H1 = 6 A								Valor hexadecimal de H2 = 0 A							
Valor apuntador hex.						2		0				A			
Valor apuntador decimal						522									

Supondremos que el apuntador se incrementa por lo cual los bits “I” cambian de valor y quedaría de la siguiente forma:

H1								H2											
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8				
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D				
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0				
Aviso del Incremento						0	0	1	0	1	0	0	0	0	0				
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1				
Valor hexadecimal de H1 = 6 A								Valor hexadecimal de H2 = 0 B											
Valor apuntador hex.								2				0				B			
Valor apuntador decimal								523											

Ahora se tiene el caso en que el apuntador decremента su valor y se tiene lo siguiente:

H1								H2											
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8				
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D				
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1				
Aviso del decremento						1	1	0	1	0	1	1	1	1	0				
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0				
Valor hexadecimal de H1 = 6 A								Valor hexadecimal de H2 = 0 B											
Valor apuntador hex.								2				0				A			
Valor apuntador decimal								522											

Si el apuntador incrementa su valor, lo que se realiza es una justificación positiva y cuando su valor decremента se realiza la justificación negativa.

Si llega a existir un *offset* de frecuencia entre las velocidades de transmisión de AUG y del VC4, el equipo detecta la diferencia y establece una justificación ya sea positiva o negativa, al mismo tiempo el apuntador avisa al receptor el cambio, por medio de los bits llamados “I” de incremento, después de esa trama el apuntador se incrementa o decremента indicando la nueva dirección del inicio del VC4, esto se puede observar en la figura III.2.

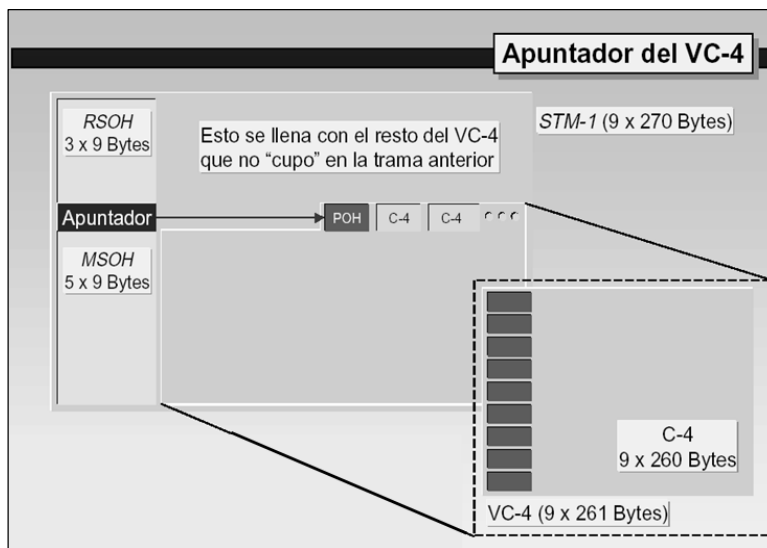


Figura III.2 El Apuntador del VC-4

Si la velocidad de trama del VC4 es baja con respecto a la del AUG, se necesitará adicionar información de relleno, lo que es una justificación positiva, la trama SDH tiene 3 bytes que levantan relleno fijo, estos son los bytes “0” que se encuentran a la derecha de los bytes H3, la justificación positiva se muestra en la figura III.3.

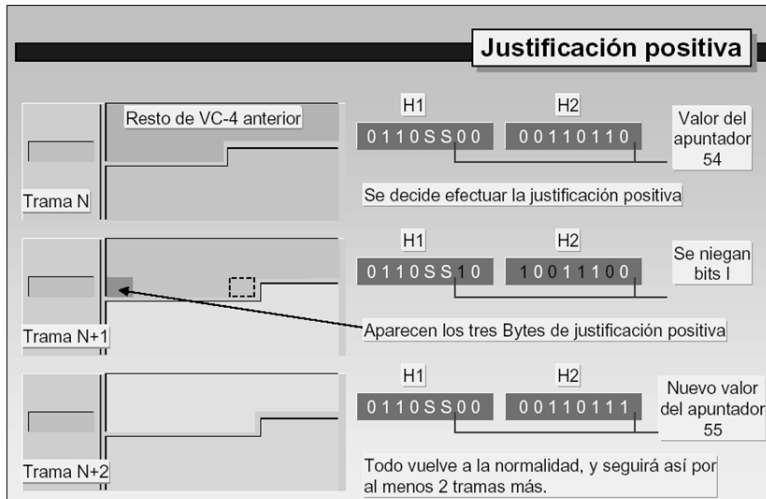


Figura III.3 Justificación Positiva

En caso de que la velocidad de la trama del VC4 sea demasiado alta con respecto a la del AUG, se tendrá que efectuar una justificación negativa, esto se logra adelantando la información hacia los bytes H3; al suceder esto se tiene que avisar al receptor de la estación distante de que en los bytes H3 existe información (I) y no relleno (R) lo cual se hace invirtiendo los bits llamados “D” de decremento, como ya se había mencionado, este proceso se puede observar en la figura III.4.

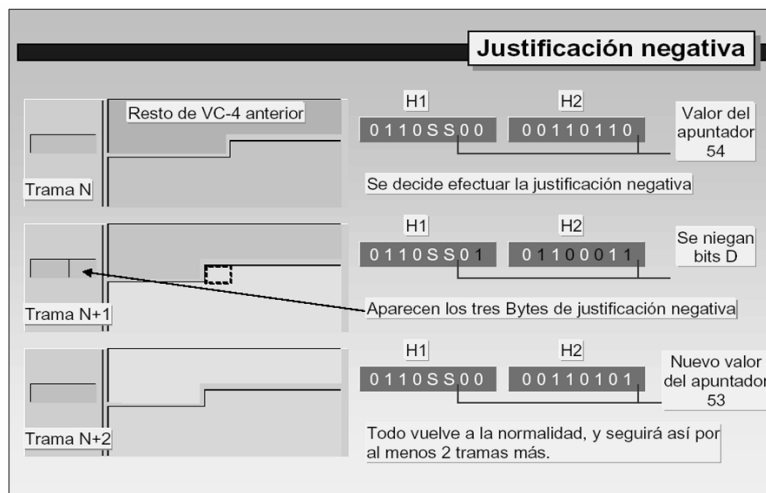


Figura III.4 Justificación Negativa

En cuanto a operaciones o cambios que se efectúan sobre el apuntador, deberán espaciarse de tal forma que cuando menos existan tres tramas consecutivas en que el apuntador permanece constante, observar la tabla:

Unidad / Condición	AU4		TU3		TU12	
	Byte H3	Byte 0	Byte H3	Byte 0	Byte V5	Byte 35
Normalmente	Relleno	Inf.	Relleno	Inf.	Relleno	Inf.
Justificación pos.	Relleno	Relleno	Relleno	Relleno	Relleno	Relleno
Justificación neg.	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.	Inf.

A continuación se muestra en la tabla el funcionamiento de los apuntadores:

Nivel	Apuntador	Byte para Justif. Neg	Byte para Justif. Pos	Direcciones apuntador	Indica el Inicio de:
AU4	H1 – H2	H3	0	0 – 782	VC4 (J1)
TU3	H1 – H2	H3	0	0 – 764	VC3 (J1)
TU12	V1 – V2	V3	35	0 – 139	VC12 (V5)

### III.3 ESTRUCTURA DE ALGUNOS APUNTADORES

#### APUNTADOR TU12

Dentro de cada una de las tramas de STM-N el apuntador indica el inicio de cada tributario, además su valor puede cambiar, esto con el fin de compensar las diferencias de velocidad.

El apuntador o puntero del TU12 esta formado de la siguiente forma:

V1								V2								V3							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D								
Bandera nuevos datos				Valor del apuntador 10 bits de 0 - 139										Oportunidad de justif. Negativa									

El V1 y el V2 son los apuntadores, el V3 es utilizado en caso de oportunidad de justificación negativa y el V4 no esta aun en uso.

La bandera de nuevos datos de los bits b1 a b4 del V1 pueden tener los siguientes valores:

V1		
Bits 1 - 4	Actividad	Bits 5 y 6 (SS)
0110	Deshabilitada	10
1001	Habilitada	10

Los bits b7 y b8 del V1 y los bits b1 a b8 del V2 indica con la letra I si es un incremento y con la letra D si es un decremento en el número en que esté el apuntador. El valor del apuntador se obtiene con los bits b7 y b8 de V1 más los bits b1 a b8 de V2 con la posibilidad de tener un total de  $2^{10} = 1024$ .

Los bits SS indican el tipo de TU.



**APUNTADOR AU4**

La estructura del apuntador AU4 puede ser representada de la siguiente forma:

H1								H2								H3							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D								
Bandera nuevos datos				Valor del apuntador 10 bits de 0 - 782								Oportunidad de justif. Negativa											

Los bits b7 y b8 del H1 y los bits b1 a b8 del H2 indica con la letra “I”; al igual que en la estructura anterior, que se trata de un incremento y con la letra “D” si es un decremento, en el número en que se encuentre el apuntador. El valor del apuntador se obtiene con los bits b7 y b8 de H1 más los bits b1 a b8 de H2 y los valores que pueden tomar los bits b1 a b4 son los siguientes:

H1		
Bits 1 - 4	Actividad	Bits 5 y 6 (SS)
0110	Deshabilitada	10
1001	Habilitada	10

**APUNTADOR TU3**

Para poder realizar el mapeo de señales de 34 Mbps hacia la red SDH se utilizan 2 niveles de apuntadores:

AU4 que es el que identifica el comienzo del VC4 en relación con el STM-1 que esta ubicado en la fila 4 del SOH, y

TU3 el cual identifica el comienzo del VC12 relativo al VC3 de cada uno de los 3 VC3 y se localiza en la columna 1 del TU3 (H1, H2 y H3).

La representación de la estructura del puntero TU3 se puede ejemplificar de la siguiente manera:

H1								H2								H3							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D								
Bandera nuevos datos				Valor del apuntador 10 bits de 0 - 764								Oportunidad de justif. Negativa											

Al igual que en las estructuras anteriores los incrementos se indican con la letra “I”, esto en los bits b7 y b8 del H1 y en los bits b1 a b8 del H2, y el decremento se indica con la letra “D” los valores que pueden tomar los bits b1 a b4 son los siguientes:

H1		
Bits 1 - 4	Actividad	Bits 5 y 6 (SS)
0110	Deshabilitada	10
1001	Habilitada	10

**APUNTADOR AU3**

La estructura de este apuntador es muy similar a las anteriores y se puede representar de la siguiente manera:

H1								H2								H3							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D								
Bandera nuevos datos				Valor del apuntador 10 bits de 0 - 782								Oportunidad de justif. Negativa											

De igual forma los incrementos son representados por la letra “I” y los decrementos con la letra “D” y los valores que pueden tomar los bits b1 a b4 son los siguientes:

H1		
Bits 1 - 4	Actividad	Bits 5 y 6 (SS)
0110	Deshabilitada	10
1001	Habilitada	10

En los apuntadores las bits SS indican el tipo de TU.

**APUNTADOR NULO**

Existe también otro apuntador que puede ser o no utilizado esto dependiendo de la estructura de multiplexación, este es conocido como “Apuntador Nulo (NPI)”, si el espacio destinado no se utiliza, los apuntadores tendrán la siguiente información:

H1								H2								H3							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0								

**III.4 ENCABEZADO GLOBAL**

Dentro de la trama SDH se transportan dos tipos de datos que son las señales tributarias y las señales auxiliares de la red, a los cuales se les denomina *encabezado global*. Este encabezado aporta las funciones que precisa la red para transportar eficazmente las señales tributarias a través de la red SDH, en la figura III.5 se muestra como transporta la información SDH.

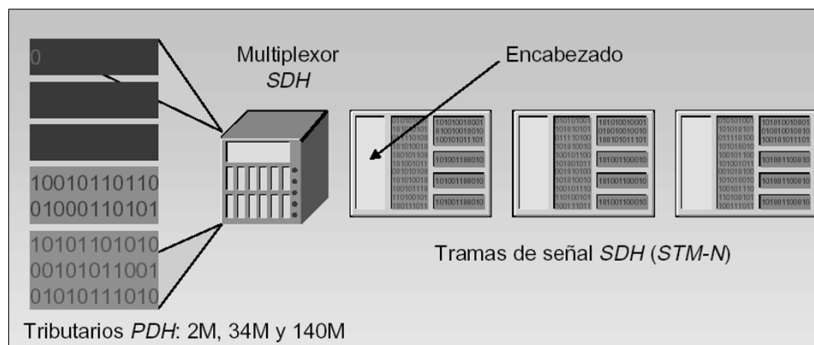


Figura III.5 Transmisión de la información en SDH

El encabezado global se divide en tres categorías que son las siguientes:

- Encabezado de trayecto,
- Encabezado de sección multiplexora y
- Encabezado de sección regeneradora.

La ruta de transmisión consta de los segmentos de trayecto, la sección multiplexora y la sección regeneradora, cada uno de los segmentos aporta su propio encabezado que incluyen las señales de soporte y mantenimiento asociadas a la transmisión del segmento.

*El encabezado de trayecto* como su nombre lo indica, es el encargado del mantenimiento y supervisión de la trayectoria, supervisa el recorrido desde su entrada a la red SDH hasta su salida.

*El encabezado de sección multiplexora* es de gran importancia en las redes SDH, es el nivel al cual la red SDH suministra protección contra las fallas de equipo o deterioro del funcionamiento. La protección cubre la funcionalidad SDH desde el punto en que el ESM (Excedente de Sección Multiplexora) se inserta en el tren de la señal hasta el punto en donde termina, en el caso de falla o un incorrecto funcionamiento, la red SDH conmutará los CV's asociados hacia un circuito de transmisión de Sección Multiplexora de Respaldo, esta acción se conoce como Protección de Sección Multiplexora (PSM). El circuito de respaldo se conoce como Canal de Protección e incluye medios de transmisión, regeneradores y equipo Terminal de sección multiplexora.

*El encabezado de sección regeneradora* es la que se encarga de regenerar la señal después de que ha pasado por la sección de trayecto y la sección multiplexora, algunos de los dispositivos que pueden realizar o intervenir en la regeneración de la señal se encuentra el multiplexor, radioenlaces, terminales ópticas, etc.

El trayecto de red SDH es la conexión lógica entre el punto en el que se une al contenedor virtual y el punto en el que se separa de éste, en otras palabras una trayectoria de red SDH es el punto en el cual se ensambla una señal tributaria dentro de su contenedor virtual y el punto en el cual se desensambla del contenedor virtual<sup>12</sup>, la siguiente figura III.6 muestra la trayectoria de red SDH.

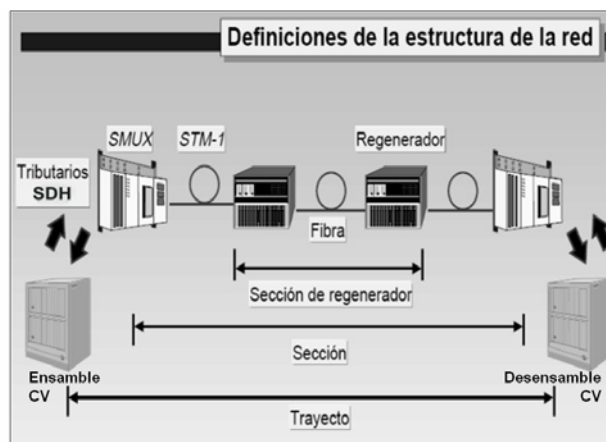


Figura III.6 Estructura de la red

<sup>12</sup> Introducción a las telecomunicaciones modernas, Enrique Herrera. Pág. 357.

## II.5 ENCABEZADO DE SECCION SOH

El Encabezado de Sección (SOH) es usado para la comunicación entre elementos adyacentes de equipos síncronos, además son utilizados para la sincronización de trama, también realiza una gran variedad de facilidades de gestión y administración.

Los bytes que conforman el Encabezado de Sección (SOH) se crean en el extremo de transmisión de cada nodo de red (el nodo de red, es el elemento que tiene la capacidad de multiplexar, derivar, insertar o crossconectar) y avanza hasta el nodo receptor, de esta forma, el SOH pertenece únicamente a un sistema de transporte concreto y no se transfiere con el VC entre los sistemas de transporte.

El SOH esta conformado de 9 filas por 9 columnas las cuales se colocan al inicio de un Módulo de Transferencia Síncrono STM-1 con la finalidad de tener funciones de supervisión, alarmas, comunicación y administración del estado del sistema.

Este Encabezado de Sección se divide de la siguiente forma:

Las 3 primeras filas y 9 columnas forman el ROSH que es el encabezado de sección regeneradora, la 4ª fila y 9 columnas son para el apuntador AU4 y de la fila 5ª a la 9ª y 9 columnas son el MSOH el cual es el encabezado de sección multiplexora, el formato del encabezado se ilustra en la figura III.7.

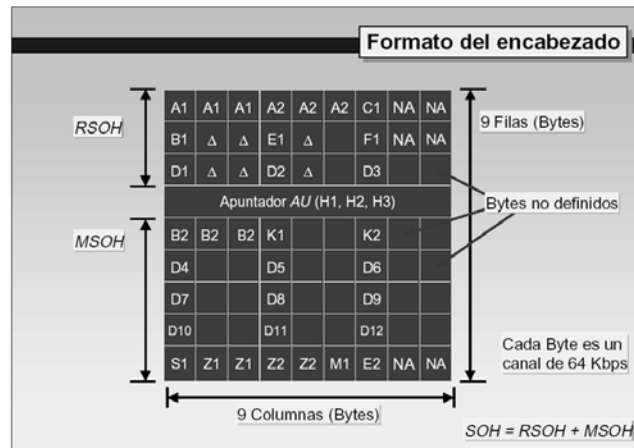


Figura III.7 Formato del Encabezado

### SECCION REGENERADORA RSOH

La sección regeneradora RSOH (Regeneration Section Overhead) es una subsección del SOH en donde se ubican los bytes de administración correspondientes a la sección de regeneradores.

En esta sección se lleva en los primeros 6 octetos la palabra de alineación de trama que consiste de tres octetos con "A1" (3 x A1) 24 bits que tienen un valor en hexadecimal de F6 en cada A1, la señal de alineamiento es verificada continuamente con relación a la posición inicial de la trama y de 3 octetos "A2" que llevan y que tienen un valor en hexadecimal de 28.

Una vez que el equipo esta en sincronía solo revisa los 4 últimos bits del ultimo A1 y los 4 primeros bits del primer A2, lo cual da un valor en hexadecimal de 62, a los bytes A1 y A2 (Framing Bytes) se les pueden definir como palabras de alineamiento de trama.

**Byte C1 o J0** (STM Identifier) sirve para numerar o identificar el número de STM-1 en un sistema STM-4, STM-16 o superior, asignando un número individual a cada STM-1. En caso de que el sistema es solo un STM-1 el uso de este byte es opcional, además este byte ayuda al alineamiento de trama.

**Byte B1** (Error Monitoring Byte) este se utiliza para el monitoreo de error de la sección regeneradora, utiliza la función del cálculo de paridad, usando **paridad par** con sus 8 bits se le conoce como BIP 8 (Bit Interleaved Parity). El byte **B1** monitorea toda la información con excepción de los 9 primeros bytes de la trama (la primera fila del SOH).

**Byte D1a D3** (Data Communication Channels DCC) estos son un canal de servicio para la comunicación de voz entre regeneradores, se utiliza también como un canal de datos para el sistema de administración dentro de la sección de regeneración.

**Byte F1** (User Chanel) ofrece un canal de 64 Kbps para el usuario, como por ejemplo para funciones temporales de mantenimiento, además nos brinda la transmisión digital para el mantenimiento de regeneradores.

**Bytes Δ** estos sirven para enviar información dependiente del medio de transmisión (Radio y Fibra Óptica) se utilizan según convenga, en la figura III.8 se muestra un ejemplo de su uso.



Figura III.8 Uso de los bytes Δ

**SECCION MULTIPLEXORA MSOH**

La sección Multiplexora MSOH es también una subsección del SOH en la cual se ubican los bytes de administración correspondientes a los Multiplexores.

Esta sección esta conformada de 5 filas y 9 columnas y tiene los siguientes bytes:

**Byte B2** (Error Monitoring Byte) sirven para la verificación de monitoreo de errores entre multiplexores (secciones) usando paridad par con 24 bits, es conmutado sobre todos los bits de la trama STM'n anteriores con excepción de las 3 primeras filas del SOH, en la figura III.9 se muestra el monitoreo de errores con los bytes B1 y B2.

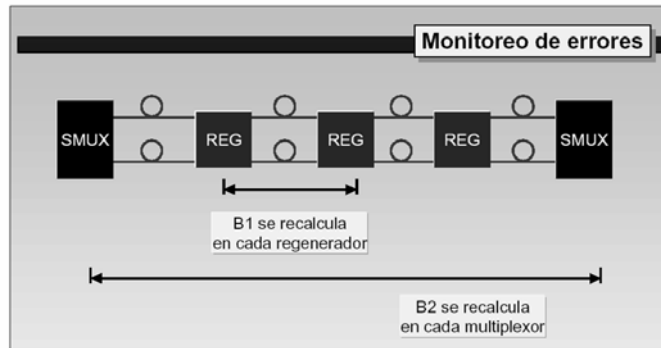


Figura III.9 Monitoreo de Errores con los bytes B1 y B2

**Byte D4 a D12** (Data Communication Chanel DCC) se utilizan como canal de datos para la administración dentro de una sección de multiplexores, estos 9 bytes dan un canal de comunicación de 576 Kbps, que puede ser usada para uso de propósitos generales y área amplia para soportar la red de gestión de telecomunicaciones incluyendo aplicaciones que no sean SDH.

**Byte S1, Z1, Z2** (Synchronization Status Bytes) este nos proporciona el informe de la calidad de sincronización, los bits 5 al 8 del primer byte (S1) se usan para enviar mensajes relativos al estado de la sincronización, el resto de los bits y los bytes Z1 y Z2 restantes están separados para funciones aun no definidas.

**Byte K1** (Automatic Protection Switching APS) es utilizado para controlar la conmutación e indicar el estado en que se encuentra la conmutación automática APS en la sección de multiplexores.

**Byte K2** al igual que el byte K1 es de conmutación de protección automática, los bits del 1 al 4 indican el número del canal en el cual la petición es avisada para la protección de la sección de multiplexores, el bit 5 indica el tipo de configuración y los bits 6 a 8 están reservados para uso futuro para la conmutación del tipo inserción/extracción; se tiene en esos bits los códigos 111 y 110 que son usados para señales de mantenimiento MS-AIS y MS-FERF.

Este byte trabaja en forma interrelacionada con el byte K1 que en sus bits 1 al 4 indican el tipo de solicitud y del 5 al 8 el número de canal a quien se esta solicitando la conmutación.

Los bytes K1 y K2 sirven para que entre los equipos se indiquen el momento y las causas para conmutar a un sistema de reserva.

**Bytes E1 y E2** (Order Wire Bytes) el byte E2 proporciona un canal de servicio para la comunicación entre terminales de sección multiplexora, es similar en su función al byte E1 de la sección regeneradora, pero con la diferencia que no esta disponible en regeneradores, solo entre terminales y se le conoce como **Canal Express**.

Los bytes E1 y E2 sirven para tener un canal de voz de servicio, como ya se menciona E1 es un canal entre regeneradores y E2 se utiliza entre multiplexores.

**Byte M1** (Remote Error Indication) este proporciona un informe de los errores recibidos, es decir, nos indica la cantidad de errores en el otro extremo, pero esto a nivel de multiplexor.

### III.6 ENTIDADES DE ENCABEZADO

Los encabezados de SDH se utilizan para control de señalización alarmas, tipo de equipo, operaciones de entramado, operaciones de verificación de errores, etc. existen los de de bajo y alto orden.

Los encabezados de bajo orden se llevan en los contenedores virtuales VC1, VC2 y VC3 y contienen los siguientes bytes:

- V5** Este byte provee las funciones de chequeo de errores, etiqueta y status de trayecto.
- J2** Este es un identificador repetitivo de trayecto que sirve para verificar la continuidad de Tx-Rx
- N2** Este byte supervisa las conexiones en cascada LO-TCM (Low Order-Tandem Conection Monitoring)
- K4** Es un byte de señalización para APS (Automatic Protection Switc)

Las funciones de cada uno de ellos es la siguiente:

**V5** este lleva información para los fines de mantenimiento y supervisión en el contenedor virtual y sus bits están distribuidos como se muestra en la figura III.10.

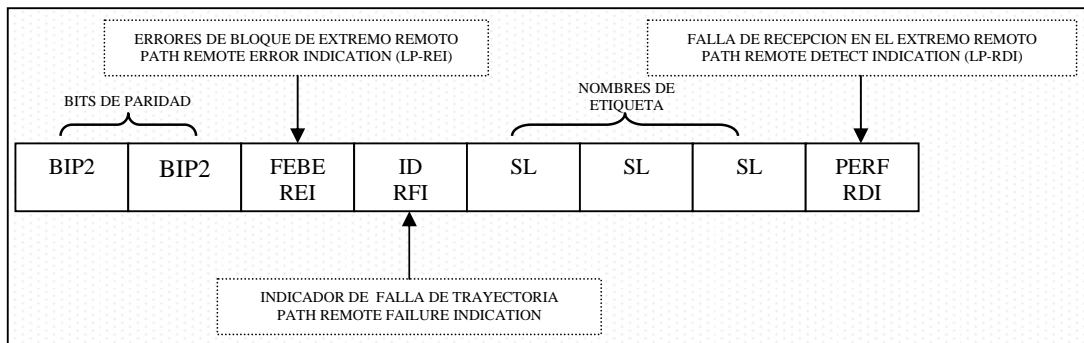


Figura III.10 Bits del byte V5

**J2** este byte es un identificador de trayectoria que sirve para verificar una conexión continua entre los VC's del transmisor y del receptor, el tamaño del indicador es de 16 tramas y es igual a los bytes J0 y J1.

**N2** es el de monitoreo de conexiones en cascada, sirve para determinar en que parte del trayecto esta la desconexión.

**K4** este es para la conmutación en bajo orden APS.

Los bits del 1 al 4 son para señalización del APS para protección de trayectoria y los bits del 5 al 8 están reservados para uso futuro.

Los encabezados de alto orden (POH) son de trayecto, se llevan del contenedor virtual VC-4 (9 x 261 bytes) en adelante. Estos encabezados se utilizan para el mantenimiento y supervisión de las trayectorias de alto orden, estos se arreglan como una columna de bytes dentro de la carga útil del STM-1 y se puede observar en la figura III.11.

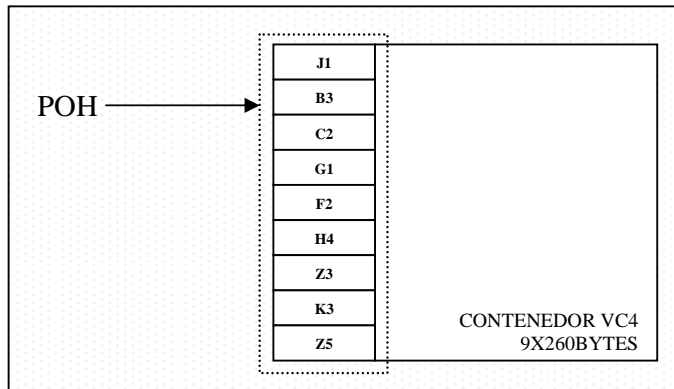


Figura III.11 Encabezado de alto orden

La descripción y funcionamiento de cada uno de los bytes se menciona a continuación:

**J1 Identificador de trayecto (Path Trace)** este byte sirve para enviar la identificación del punto de destino hacia donde viaja la información contenida en su VC. La información se envía en un formato libre de hasta 64 bytes, esto permite al receptor de una señal el verificar que la señal venga de la misma fuente.

**B3 Monitoreo de Errores (Error Monitor)** este tiene la misma función que el byte B1 y B2 del SOH, es decir, nos da el resultado del cálculo de paridad, se calcula de la misma manera y monitorea toda la información del VC antes del proceso de aleatorización.

**C2 Identificador de Señal (Signal Label)** indica la naturaleza de la información, es el nombre de la señal que especifica el tipo de mapeo que se utilizó en el VC'n. Este byte puede tomar los siguientes valores:

0	0	0	0	0	0	0	0	Sin carga útil
0	0	0	0	0	0	0	1	Equipado pero no especificado
0	0	0	0	0	0	1	0	Estructura de TUG
0	0	0	0	0	0	1	1	TU fija
0	0	0	0	0	1	0	0	Mapeado asíncrono de 34/45 Mbps al C3
0	0	0	1	0	0	1	0	Mapeado asíncrono de 140 Mbps al C4
0	0	0	1	0	0	1	1	Celdas ATM
0	0	0	1	0	1	0	0	MAN (DQDB) Bus doble de espera distribuido
0	0	0	1	0	1	0	1	FDDI
1	1	1	1	1	1	1	0	Error Performance on STM
1	1	1	1	1	1	1	1	VC AIS



**G1 Estado del Trayecto (Path Status)** sirve para informar al extremo distante del estado actual del trayecto, como puede ser un estado de falla o alarma, es decir, monitorea el comportamiento de red de la señal recibida en el extremo remoto y es indicado por dos tipos de alarmas:

**FEBE (Far End Block Error)** Error de bloque de extremo remoto, con estos bits (del 1 al 4) se lleva una cuenta del número de errores que se han detectado en el byte B3, los valores válidos son del 0 al 8 exclusivamente, de esta manera se le indica al extremo distante de la calidad de la señal recibida.

**FERF (Far End Receive Failure)** Falla en la recepción del extremo remoto, cuando este bit (5) toma el valor de 1 se le está indicando al extremo distante que la señal recibida no es válida.

Los bits del 6 al 8 son de uso indefinido hasta el momento.

**F2, Z3 Canales del Usuario (User Chanel)** definidos para proveer al usuario de un canal de comunicaciones entre los extremos, a nivel de los equipos conectados a los SMUX. Por ejemplo, para manejar un canal de datos entre los equipos PDH que están conectados a través de la red SDH.

**H4 Indicador de Posición (Position Indicator)** este provee información acerca de la posición de la carga transportada.

**K3 Conmutación de Protección (Protection & Spare)** son los bits del 1 al 4 para conmutación APS y los bits del 5 al 8 son reserva.

**Z5 Mantenimiento (Network Operator)** éste está dedicado a las funciones específicas de mantenimiento, es decir, para propósitos de administración y para el mantenimiento de conexiones (TANDEM NETWORK OPERATOR HO-TCM), en esta función los 4 primeros bits se utilizan como contador de errores.

De esta forma es como están constituidos y como funcionan los encabezados dentro de SDH.

## **CAPÍTULO IV**

# **“REDES SDH”**

## IV.I COMPONENTES DE LA RED

De acuerdo a las funciones que desarrollan los equipos dentro de una red estos pueden ser de uso simple o complejo, en las redes SDH los elementos más importantes para su correcto funcionamiento y comunicación son los siguientes:

- Multiplexor Terminal (MUX),
- Multiplexor de Extracción e Inserción (ADM)
- Regenerador (REG) y
- Crossconector Digital (DXC).

### **MULTIPLEXOR TERMINAL**

Estos dispositivos se emplean para combinar las señales plesiócronicas de entrada y así obtener señales STM-N de mayor velocidad en la salida, es decir, estos multiplexores reciben una serie de señales plesiócronicas, las empaquetan y combinan para dar origen a una señal síncrona de mayor velocidad. Además se encargan de distribuir de forma eficaz el ancho de banda disponible en la troncal esto con el fin de acomodar todas las señales que se tienen que transportar, en la figura IV.1 se muestra el multiplexor Terminal.

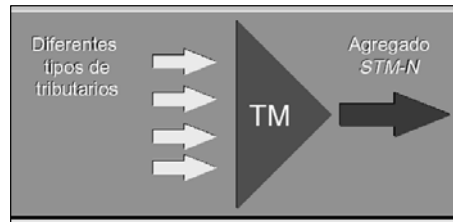


Figura IV.1 Multiplexor Terminal

El Multiplexor Terminal puede integrar diferentes tributarios en una solo señal SDH, los tributarios pueden ser PDH, SDH de velocidad menor a la salida y también celdas ATM.

### **MULTIPLEXOR DE EXTRACCIÓN E INSERCIÓN**

Los Multiplexores ADM (Add-Drop Multiplexer) basan su funcionamiento en la sincronía y en los punteros presentes en la trama STM-N, permiten insertar o extraer señales plesiócronicas y síncronas de menor velocidad en el flujo de datos SDH de alta velocidad, debido a esta característica es posible configurar estructuras en anillo, las cuales ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva en caso de surgir algún fallo en los elementos de trayecto, en la figura IV.2 se ilustra este tipo de multiplexor.

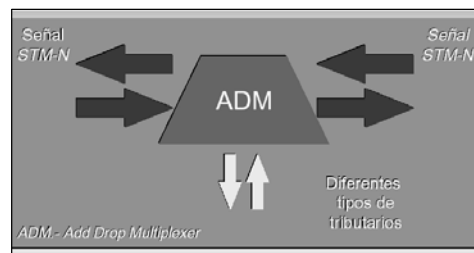


Figura IV.2 Multiplexor ADM

Al igual que el Multiplexor Terminal los tributarios que se pueden agregar o extraer son señales PDH, SDH de menor velocidad y celdas ATM.

**REGENERADOR**

El Regenerador es el dispositivo que se encarga de reconstruir las relaciones de potencia y sincronismo de una señal que han sido distorsionadas por la dispersión asociada al medio, es decir, se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos que han sido atenuadas y distorsionadas. Los regeneradores son por lo general elementos activos, obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante, en la figura IV.3 se muestra el diagrama del regenerador.

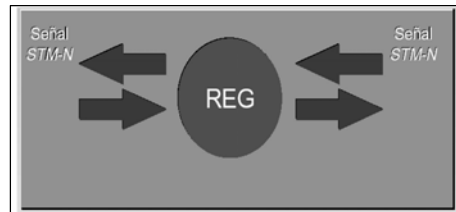


Figura IV.3 Regenerador

Los equipos que pertenecen a la sección de regenerador se comunican a través de los canales existentes en la RSOH, además los regeneradores que se utilizan en SDH cuentan con cierta inteligencia la cual es utilizada para las funciones de administración y mantenimiento.

Cuando una señal óptica es enviada a través de la fibra óptica esta se atenúa por lo cual un regenerador se debe colocar a intervalos reglados del enlace, de tal forma que la señal óptica que recibe pueda ser recuperada e identificada sin pérdida de información, el regenerador para lograr esto, emite una señal decodificada con la información que decodifico hacia el siguiente regenerador o destino.

**CROSSCONNECTOR DIGITAL**

El Crossconector Digital es el elemento de la red que tiene más funciones, da flexibilidad a la red, permiten crear conexiones virtuales entre cualquier tipo de tráfico, permite mapear las señales tributarias PDH en contenedores virtuales así como conmutar múltiples contenedores, en la figura IV.4 se muestra el diagrama de este dispositivo.

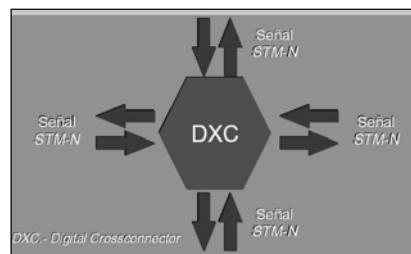


Figura IV.4 Crossconector

El crossconector es un elemento de conmutación cuyas troncales son señales STM-N, permite enrutar los CV's de diferentes tamaños contenidos en los STM's de un puerto a otro.

Este dispositivo fue diseñado para realizar conmutación a mayor velocidad, la mayor ventaja que tiene el crossconector es la de gestionar eficientemente el ancho de banda de los enlaces.

Existen dos tipos de crossconexiones que son las siguientes:

- Crossconexión digital de banda amplia: se trata de una crossconexión que termina señales SDH y 140 Mbps, así como también posee la funcionalidad básica de las crossconexiones de los niveles de unidades tributarias y 2 Mbps.
- Crossconexión digital de banda ancha: esta crossconexión accesa a las señales STM-1 y conmuta en ese nivel.

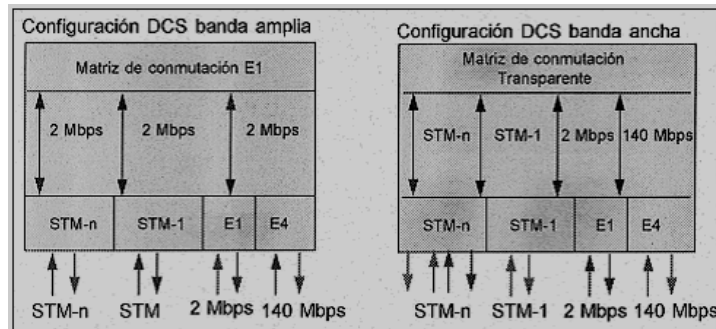


Figura IV.5 Tipos de Crossconexiones

## IV.2 TOPOLOGÍAS PARA REDES SDH

### PUNTO A PUNTO

Esta topología se compone de dos multiplexores terminales unidos por uno o dos enlaces STM-N, en cada uno de los multiplexores se ensambla y desensambla la trama completa.

Esta topología tiene la desventaja de no explotar las ventajas de SDH y es muy vulnerable a cortes ya que la protección de ruta es costosa, en la figura IV.6 se ilustra el enlace punto a punto.

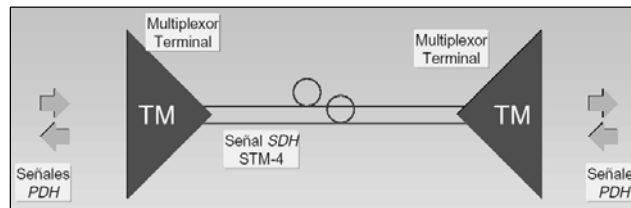


Figura IV.6 Enlace Punto a Punto

### LINEAL O BUS CON EXTRACCIÓN E INSERCIÓN

Está compuesta por una sesión de multiplexores ADM y al final de cada extremo existe un multiplexor Terminal, como se muestra en la figura IV.7.

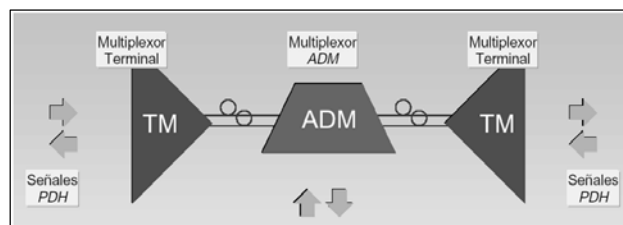


Figura IV.7 Enlace Bus con Extracción e Inserción

Una de las ventajas que tiene una topología lineal es que tiene un manejo flexible del tráfico y tiene opción a extensión de la red con un costo bajo, aunque sigue siendo vulnerable.

#### ANILLO

Esta topología está compuesta por un conjunto de multiplexores ADM con dos enlaces STM-n unidos entre sí en forma de un anillo, como se muestra en la figura IV.8.

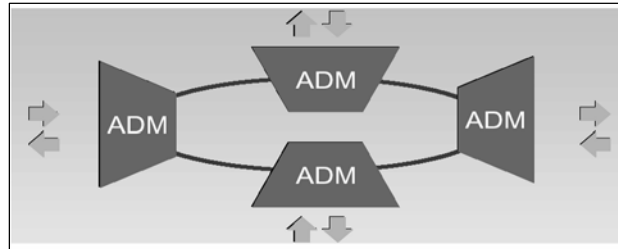


Figura IV.8 Enlace Tipo Anillo

Las ventajas de esta topología es que tiene variedad en las posibilidades de protección, es la mejor opción en cuanto al costo y beneficio y es una de las topologías más utilizadas en las redes SDH.

#### MALLA

La topología de malla es sin duda la configuración más confiable, pero es de las más costosas, también cuenta con varias opciones de protección y requiere de crossconectores DXC, como se muestra en la figura IV.9.

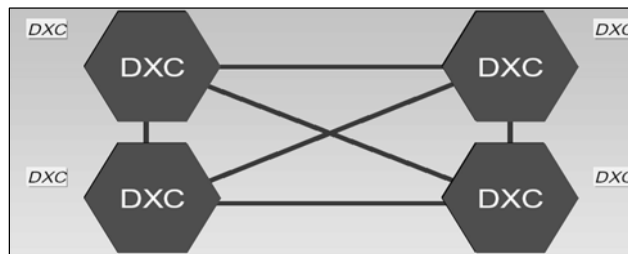


Figura IV.9 Enlace Tipo Malla

A partir de las topologías mencionadas es posible realizar combinaciones entre ellas aprovechando las características de cada uno de los dispositivos que la conforman, esto dependiendo de la red que se desee implementar.

Así mismo se puede aprovechar lo mejor de cada una de las topologías, utilizando las protecciones y redundancias en donde la red lo requiera y donde sea más vulnerable, además también se pueden aprovechar sus ventajas para aislar los flujos de tráfico que no son necesarios en toda la red y lo cual provocaría el malgasto del ancho de banda disponible.

### IV.3 ESPECIFICACIONES DE SDH

La Jerarquía Digital Síncrona maneja una trama de velocidad de transporte base (STM-1), cuya velocidad es de 155.520 Mbps y consta de una serie de diversos contenedores virtuales de alto y bajo orden. A partir de la trama básica de SDH se derivan otras velocidades como STM-4 y STM-16, los cuales son múltiplos de STM-1, adquiriendo de esta forma mayores

capacidades de transporte, en la siguiente figura IV.10 se muestran las capacidades que tiene SDH.

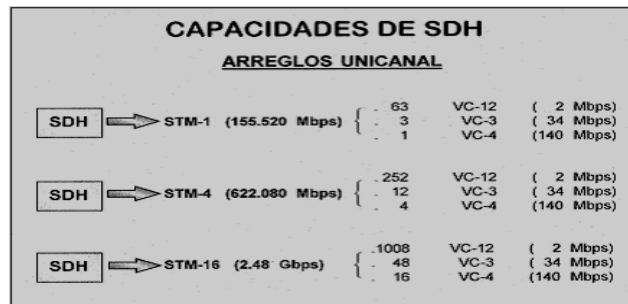


Figura IV.10 Capacidades de SDH

SDH permite estandarizar la intercomunicación entre equipos de múltiples proveedores, dentro de la red existe un solo reloj con la finalidad de manejar las señales de sincronía de los diferentes elementos de la misma, utiliza el relleno de bits para multicanalizar señales no sincrónicas, utiliza una sola etapa de multiplexaje y demultiplexaje, esto ayuda a eliminar varios procesos de multicanalización, por medio de la fibra óptica SDH crea canales de transmisión de voz, datos y video, los cuales pueden ser fácilmente insertados o derivados.

SDH debe cumplir con algunas especificaciones para aceptar y adaptar las señales digitales del sistema PDH esto para poder ser trasladadas a un ambiente óptico/eléctrico, además para conservar una misma técnica de multiplexaje síncrono y también para operar, administrar, controlar y proteger la información que se transporta en la red de manera estándar.

La UIT fue creando la estructura de SDH y algunas de las recomendaciones para la creación de las redes SDH son las siguientes:

- G.707 "Velocidades SDH"
- G.708 "Nodo interfaz a la red SDH"
- G.709 "Estructura de multicanalización"
- G.781 "Equipo de multicanalización SDH"
- G.957-958 "Sistemas de línea óptica SDH"
- G.SNA-1,2 "Aspectos de la red SDH"
- G.SDX-1,3 "Crosconexión digital SDH"
- G.821 "Comportamiento de errores"
- G.774 "Modelo de información de administración SDH"
- M-2100 "Limites de comportamiento para Administración y Control"

#### IV.4 PROTECCIÓN Y GESTIÓN

La confiabilidad de una red es un factor importante al momento de determinar el desempeño de la misma. La confiabilidad de una red se relaciona con el nivel de supervivencia que presenta. Debido al incremento en la capacidad de transmisión sobre un solo enlace, la supervivencia de las redes a desastres o fallas de operación se ha convertido en un factor determinante del diseño de redes.

La planeación de contingencias en un servicio se puede dividir en 4 fases como se muestra en la figura IV.11, esto con el objetivo de asegurar la continuidad en la prestación del servicio y disminuir el nivel de impacto causado por una falla en la infraestructura.

El diseño robusto de la red, se logra utilizando arquitecturas de supervivencia, es decir, maximizar la supervivencia y minimizar el costo de implementarla.

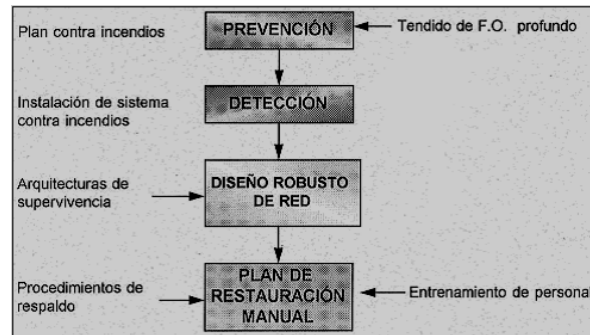


Figura IV.11 Fases de la planeación contra contingencias.

Una clasificación de los esquemas de protección es por el nivel al cual realizan la protección. Estas opciones son Protección de línea que se realiza para todos los canales de un enlace, asegurando el enlace punto a punto y protección de trayectoria que se implementa para cada uno de los canales afectados y de esta forma asegurar la comunicación origen-destino.

Los esquemas de protección pueden ser revertibles o no, es decir, una vez que se soluciona la condición de falla regresa a su modo normal de operación.

Las redes SDH se caracterizan por la cantidad de protecciones a varios niveles que permite implementar, las fallas en los elementos que conforman una red la vuelven vulnerable y disminuye considerablemente la disponibilidad de todo el sistema de transmisión. Debido a las fallas en los elementos se tiene la necesidad de proteger cada uno de ellos, cuando se realizan protecciones a nivel de elemento se lo conoce como protecciones de equipamiento 1:1, este tipo de protección presenta grandes ventajas de confiabilidad y flexibilidad en la operación y el mantenimiento. En la mayoría de los casos el implementar una protección del tipo 1:1 es bastante costoso ya que implica duplicar todas las tarjetas asociadas a un equipo, debido a esto existen también otros tipos de protección conocidos como 1:N.

Otra clasificación de las arquitecturas de protección es por el tipo de restauración que manejan que puede ser la de *restauración de tráfico* que se utiliza en redes conmutadas y consiste en asignar otro circuito para completar las llamadas individuales y la de *restauración de instalaciones* que se aplica a redes de transporte y consiste en asignar recursos para la protección los cuales no son utilizados bajo las condiciones normales, este tipo de protección se divide en dos categorías que son la restauración dedicada (conmutación automática de protección APS, Dual Homing y Anillos Restauradores) y la restauración dinámica (redes DCS reconfigurables).

#### CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA DE PROTECCIÓN APS

Este tipo de protección al detectar una falla en el enlace de trabajo, conmuta al enlace de protección proporcionando con esto continuidad del servicio, su principal aplicación es en los enlaces punto a punto. Esta aplicación se implementa colocando un enlace adicional entre los dos puntos a proteger, este tipo de protección se especifica como 1:N, siendo N el número de enlaces que se protegen con una fibra.



El protocolo APS se conforma del siguiente procedimiento:

1. Un comando de conmutación es activado,
2. El byte K1 es llenado con la solicitud y el número de canal que solicita el uso de la línea de protección, el mensaje es enviado por la línea de protección,
3. El iniciador valida el byte K1,
4. Si el iniciador recibe 3 veces consecutivas e idéntico el byte K1 lo envía al terminador confirmando el cambio, al mismo tiempo realiza la conmutación del canal al esquema de protección y envía el byte K2,
5. (a y b) en el terminador, al recibir el byte K2 se realiza el cambio al sistema de protección,
6. El terminador envía el byte K2 al iniciador, indicando que ha hecho el cambio,
7. El iniciador completa la conmutación bidireccional cambiando al esquema de protección

Todo este procedimiento se puede observar en la figura IV.12.

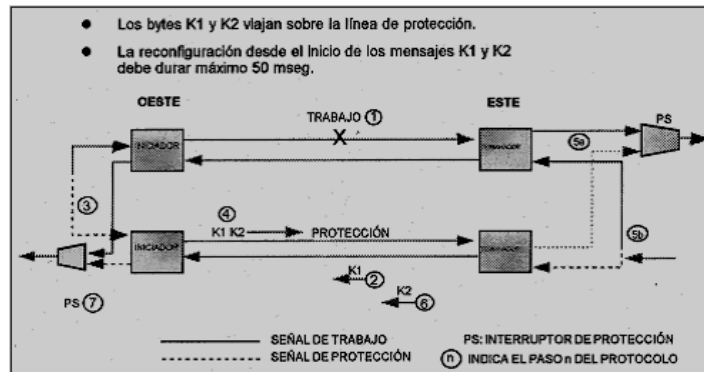


Figura IV.12 El protocolo APS

La causa más frecuente por la que el servicio se interrumpe se debe a cortes del cable de fibra óptica, en ocasiones la fibra de protección corre junto a las fibras de trabajo, por lo que al presentarse la falla la fibra de protección también se ve afectada invalidando con esto el esquema de protección instalado, con el fin de asegurar la supervivencia del enlace se recomienda el uso de otra ruta física como se muestra en la figura IV.13, para el o los enlaces de protección.

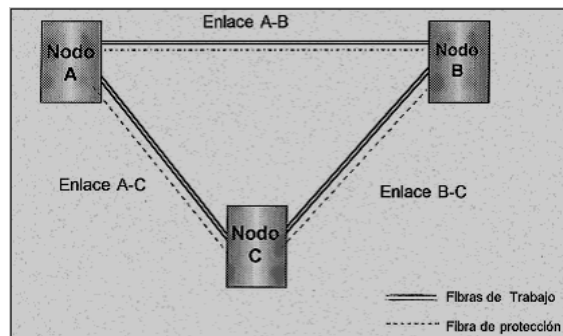


Figura IV.13 La fibra de protección.

## PROTECCIÓN DUAL HOMING

El esquema de protección Dual Homing se recomienda para redes cuyo patrón de demandas sea centralizado, es decir, el destino de la mayoría del tráfico es una oficina central (HUB). Este esquema propone habilitar una segunda oficina que funcione como respaldo de la primera, consiguiendo con esto protección contra fallas del concentrador, por lo que la implementación de este esquema en redes ya establecidas no significa un cambio sustancial en la topología de la red. El Hub secundario recibe la misma información que el primario, y únicamente hasta recibir el control del sistema, vía bytes de control, la procesa. Un defecto que presenta el esquema mostrado en la figura IV.14 es la nula protección contra fallas en el corte de fibra óptica.

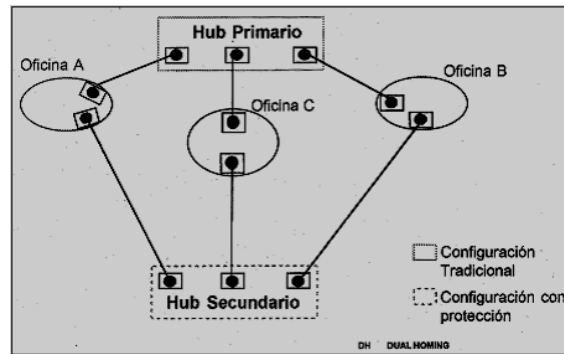


Figura IV.14 Protección Dual Homing

## ANILLOS AUTORESTAURABLES

En este tipo de protección las señales fluyen por el anillo y en cada nodo se debe de realizar alguna de las siguientes funciones: Transporte, Inserción o Segregación; debido a ésto en cada nodo se colocan equipos que funcionan como ADM como lo muestra la figura IV.15. Los anillos son auto-restaurables porque pueden restaurar las demandas afectadas automáticamente, cuando el enlace de fibra óptica, el equipo o la oficina central falla. Los bytes K1 y K2 son utilizados para informar de la existencia de una condición de falla o degradación del servicio, por lo que se limita a 16 el número de nodos en un anillo.

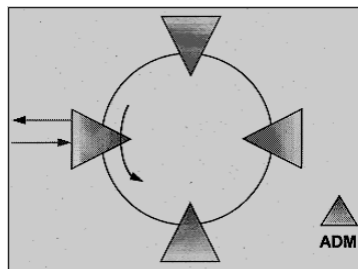


Figura IV.15 Protección de Anillo.

Existen dos tipos de anillos; los unidireccionales y bidireccionales, en los Anillos unidireccionales la información fluye en un sólo sentido, sin importar su destino. La capacidad del anillo es determinada por la suma de las demandas entre los nodos. El esquema de protección de estos anillos consiste en colocar un anillo adicional, paralelo al anillo de trabajo.

La protección de los anillos se puede tratar de 2 formas:

- Anillos unidireccionales con protección de lazo (loopback) USHR/L y
- Anillos unidireccionales con protección de trayecto. USHR/P

LOS ANILLOS USHR/L

Los anillos USHR/L, bajo condición de falla, envían los canales afectados al anillo de protección.

El procedimiento de protección se realiza de la siguiente forma; en cada nodo se cuenta con un transmisor (Tx) y un receptor (Rx) por cada anillo, el de trabajo y el de protección. En funcionamiento normal el Tx y el Rx se encuentran conectados como se muestra en la figura IV.16. Al momento de ocurrir una falla, los nodos adyacentes a la falla realizan la función de protección por lazo (loopback), conectándose el Tx del anillo de protección al Rx del de trabajo, formando el lazo, y de esta manera la topología de anillo no se pierde.

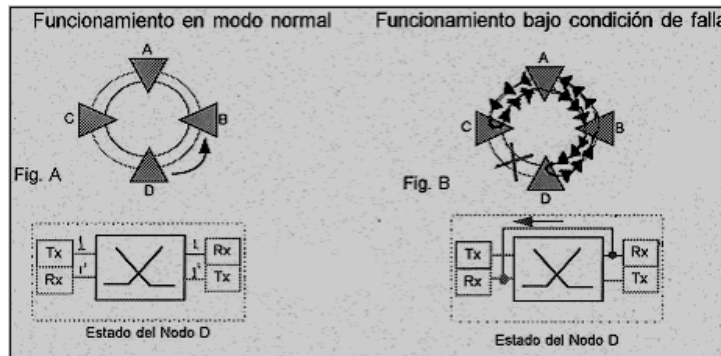


Figura IV.16 Protección de Anillo USHR/L.

LOS ANILLOS USHR/P

Los anillos con protección por selección de trayectoria, se definen como una arquitectura que opera bajo una topología en la situación normal pero cambia a una configuración lineal cuando falla algún elemento de la red como se ilustra en la figura IV.17. Bajo condiciones normales de operación las señales son enviadas por los dos anillos (configuración 1+1), el nodo destino recibe dos señales con un pequeño delay. El equipo receptor en el nodo destino decide con base a criterios preestablecidos cual de las dos señales se encuentra en mejores condiciones, al momento de ocurrir una falla en un enlace.

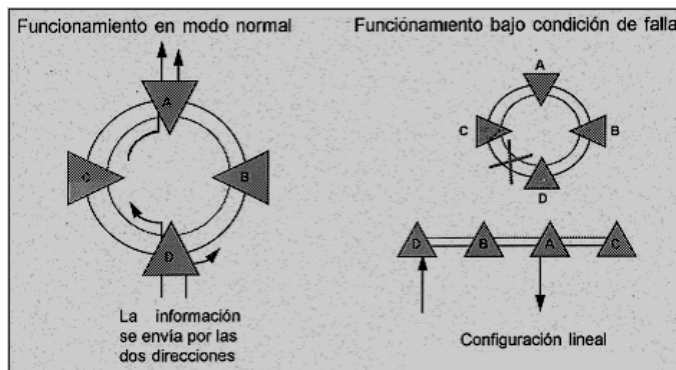


Figura IV.17 Protección de Anillo USHR/P.

### ANILLOS BIDIRECCIONALES BSHR

En los anillos bidireccionales la información es transmitida en ambos sentidos sobre un enlace por lo que se requieren dos fibras por cada enlace. La capacidad del anillo es determinada por el patrón de demandas entre los nodos. La protección en estos anillos, se logra al diseñarlos con ancho de banda redundante; debido a esto se hace referencia a canales de trabajo y canales de protección más que a fibra de trabajo o fibra de protección. Estos anillos utilizan protección de línea, este tipo de protección se muestra en la figura IV.17.

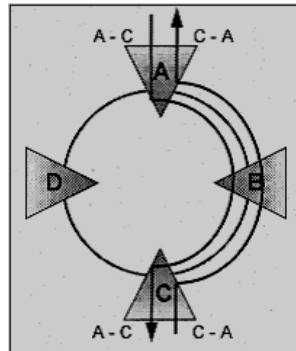


Figura IV.17 Protección de Anillo bidireccional BSHR.

Dentro de los anillos bidireccionales existen dos tipos que son los Anillos bidireccionales a 2 fibras (BSHR/2) y a 4 fibras (BSHR/4).

### ANILLOS BIDIRECCIONALES A 2 FIBRAS BSHR/2

En estos anillos, los canales de trabajo y protección usan la misma fibra, un porcentaje por una y el resto por la otra; con el fin de proteger todos los canales se reserva la mitad del ancho de banda a los canales de protección de cada fibra. Bajo las condiciones normales de trabajo se utilizan los canales inferiores para transportar información. Al presentarse una falla, los canales a transmitir se envían por la dirección contraria en los canales vacíos del anillo, para evitar la falla como lo muestra la figura IV.8

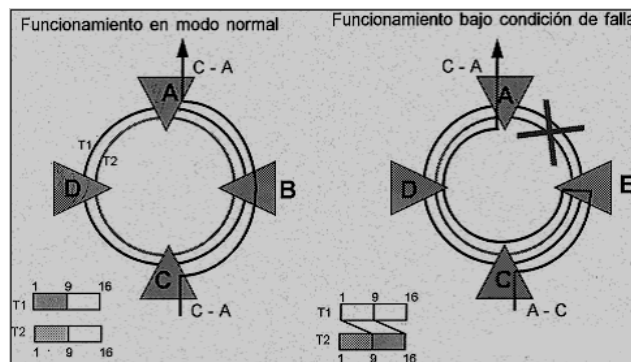


Figura IV.18 Protección de Anillo a 2 fibras.

Este tipo de conmutación requiere que los ADM puedan realizar funciones de cross-conexión usando TSI (Intercambio de Ranuras de Tiempo). Si la utilización de la fibra por canales de trabajo supera al 50, se requiere asignar a los circuitos prioridades y con base en éstas se determinan los circuitos que se protegen.

ANILLOS BIDIRECCIONALES A 4 FIBRAS BSHR/4

En estos anillos, dos fibras llevan el tráfico normal y otras dos llevan los canales de protección, la protección utilizada es de línea y el mecanismo para implementarlo es similar al usado en el anillo USHR/L donde únicamente los nodos adyacentes a la falla intervienen en la protección, los canales son enviados al anillo de protección haciendo uso de las capacidades de los ADM's. Se requieren dos ADM's básicos en cada uno de los nodos. Los ADM's pueden configurarse bajo el esquema 1+1, compartiendo un mecanismo de control o como dos ADM's independientes conectados externamente por un control como se muestra en la siguiente figura IV.19.

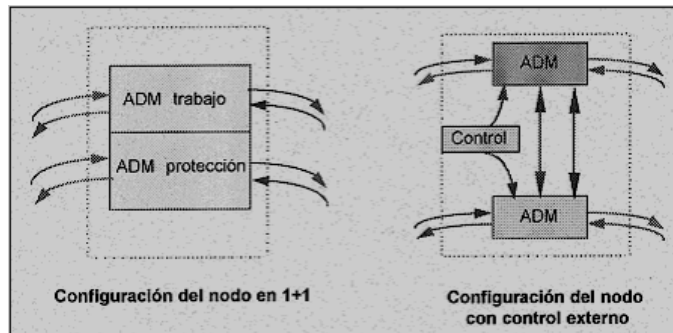


Figura IV.19 Protección de Anillo a 4 fibras.

Esta configuración presenta la mayor supervivencia entre las posibles configuraciones de anillos SDH, pues funciona en presencia de rupturas de cable y fallas de ADM's. El esquema de protección por lazo es utilizado pues los procesos involucrados en su implementación son más sencillos que aquellos involucrados en la protección por trayectoria.

DIMENSIONAMIENTO

Parte fundamental en el diseño de un esquema de protección, es el conocer el tipo de enlaces que existirán entre cada uno de los nodos que se integrarán al anillo. Para esto, se requiere conocer el patrón de demandas asociado a la red, y con base en él se obtiene el nivel de equipo a colocar en cada nodo (STM-1, STM-4 ó STM-16). Para un anillo unidireccional, cada sección transporta todo el tráfico, por lo que su dimensión es equivalente a la suma de la demanda existente, siendo en este caso STM-16. Como se muestra en la figura IV.20 se asume que la demanda entre dos nodos es la misma en ambas direcciones, es decir del nodo C al E se requieren 3 y del nodo E al C también.

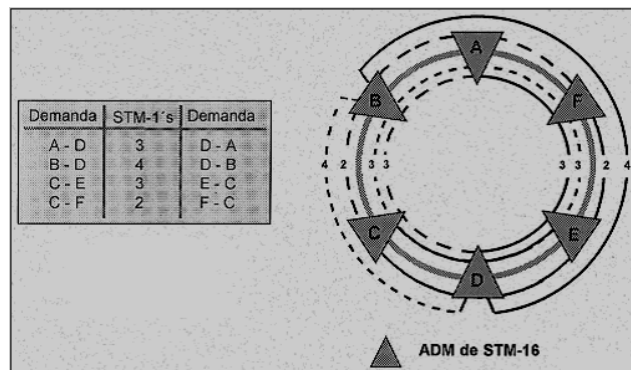


Figura IV.20 Dimensionamiento.

Para implementar los anillos bidireccionales el dimensionamiento se hace tomando en cuenta lo siguiente:

- Ordenar el patrón de demandas de mayor a menor,
- Distribuir las demandas por diferentes rutas, buscando que las demandas de cada enlace sean similares en todos los enlaces y
- La capacidad del anillo queda determinada por la sección con mayor número de canales.

Esto se puede observar en la siguiente figura IV.21.

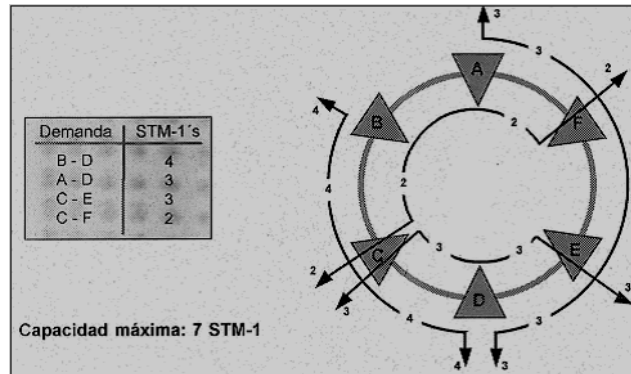


Figura IV.21 Implementación del dimensionamiento.

El nivel de equipo para un anillo BSHR/2 se determina directamente de la capacidad máxima siendo para este caso 2 STM-4 ó 1 STM-16. El nivel de equipo para un anillo BSHR/4 es la mitad del BSHR/2, siendo en esta caso 1 STM-4.

#### INTERCONEXIÓN DE ANILLOS

En ciertas aplicaciones el incremento en demanda de ancho de banda o por limitantes geográficas obligan a diseñar la red con varios anillos, los cuales deben de interconectarse entre sí. Es conveniente mantener la independencia de los anillos involucrados, para evitar que las fallas de uno lleguen afectar el funcionamiento del resto de los anillos. No es forzoso que el nivel de los anillos sea el mismo, es decir, se puede interconectar un anillo STM-16 con un STM-4 o con un STM-1. La interconexión de anillos puede realizarse a través de un nodo o de dos como se ilustra en la figura IV.22. La ventaja de hacerlo en dos puntos es la protección que se adquiere y si la necesidad de intercambio de información es considerable, se puede utilizar equipo de menor capacidad.

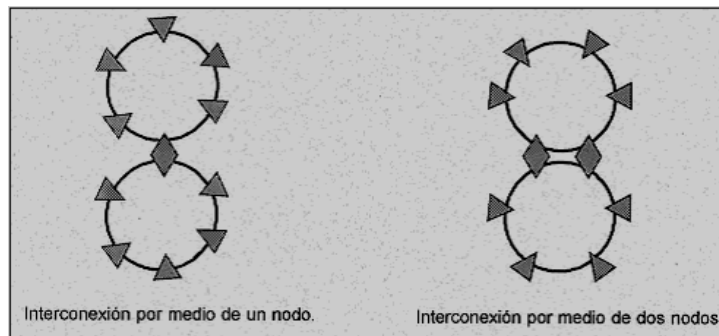


Figura IV.22 Interconexión de Anillos.



Existen diversas formas de interconectar los anillos, esto se puede lograr dependiendo de la red; la configuración más simple consiste en colocar dos ADM's en el nodo de interconexión, uno por anillo, la conexión se realiza del lado de las tributarias de los equipos como lo muestra la figura IV.23a, otra forma es colocar un DCS entre los dos ADM's como lo muestra la figura IV.23b, el DCS controlará las demandas entre los dos anillos, este tipo de conexión tiene la flexibilidad de permitir agregar y quitar anillos, otra forma de interconexión es colocar un DCS como elemento de interconexión como lo muestra la figura IV.23c, la desventaja de este tipo de conexión es que se presenta el problema de que los anillos no son independientes entre sí, por lo que en caso de falla del DCS los anillos involucrados se ven afectados, además el uso de crossconexión demanda más tiempo para la restauración de servicios en caso de falla.

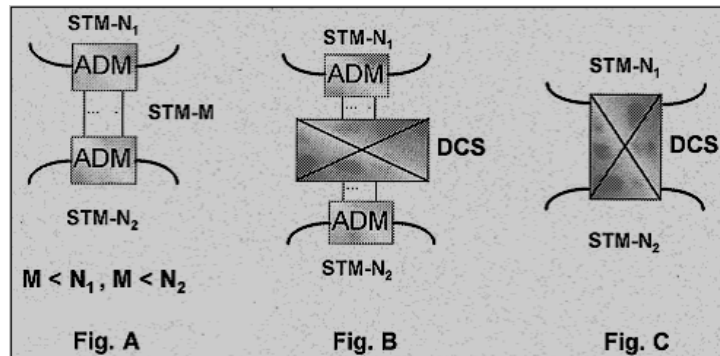


Figura IV.23 Tipos de interconexión de anillos.

## GESTIÓN

La UIT generó una serie de recomendaciones para realizar la gestión de una red de Telecomunicaciones TMN. Una red SDH, fue pensada para adaptarse a estas recomendaciones, pues incluye bytes específicos para enviar mensajes y proveer la administración. La gestión de una red tiene por objetivo optimizar el funcionamiento y tener un control sobre lo mismo. Los niveles están clasificados de acuerdo al alcance que tienen y la estructura se muestra en la siguiente figura IV.24.

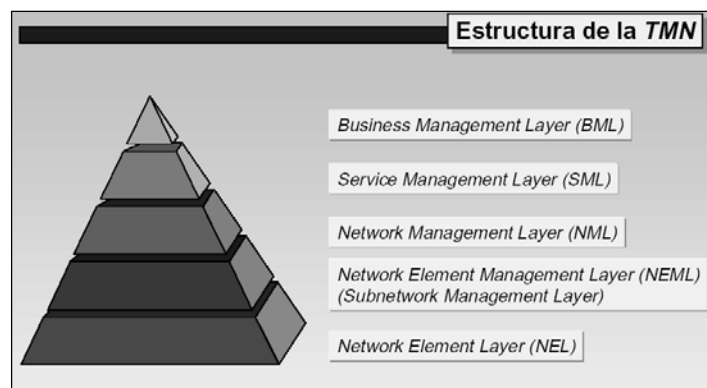


Figura IV.24 Estructura TMN

La Gestión de una red incluye acciones de Operación, Administración, Mantenimiento y Provisionamiento. Estas acciones son una herramienta poderosa para las compañías de la red pues le permiten optimizar sus operaciones, tener un mayor control sobre las fallas así como la

implementación de planes que se anticipen a fallas, evitando de esta manera una degradación en la calidad del servicio.

Debido al avance en la electrónica, la flexibilidad de los equipos SDH o la importancia en los equipos SDH radica en el uso de Software para su configuración y para sus procesos. Esto permite hacer uso de Redes de Comunicaciones de Datos para accederlos y realizar gestión sobre ellos de manera remota; para esto se utiliza un software de Gestión de Red, a través del cual es posible realizar de una manera centralizada la operación, administración, mantenimiento y provisionamiento de los elementos de red.

#### IV.5 TMN EN SDH

La red de gestión de telecomunicaciones (TMN) se estableció en 1989 con la recomendación M.3010 de la UIT, sus funciones se resumen en Operación, Administración, Mantenimiento y Provisionamiento (OAM&P), lo que incluye monitoreo de la red y comprobación de los mensajes de error.

El modelo TMN incluye un gestor y varios agentes que a su vez controlan varios objetos gestionados, el gestor está incluido en el sistema operativo el cual forma el centro de control total o parcial de la red, dentro de una red SDH los agentes están situados en los elementos de la red, un objeto gestionado puede ser una unidad física o un elemento lógico.

La TMN se considera como un elemento mas de la red síncrona, los elementos que conforman la red SDH se controlan por software, lo que significa que pueden monitorearse y controlarse desde un lugar remoto, lo cual es una de las ventajas más importantes de SDH.

La fibra óptica es el medio físico más habitual en las redes SDH, la ventaja que tienen es que no son susceptibles a las interferencias y que pueden transportar las señales a velocidades muy elevadas.

En las redes de telecomunicaciones actuales se emplean, para las tareas de gestión; los protocolos CMIP (Protocolo Común de Información de Gestión) y el protocolo SNMP (Protocolo Simple de Gestión de Red) el cual es básicamente una forma simplificada del CMIP, el SNMP se utiliza principalmente en las comunicaciones de datos. La interfaz Q3, que es donde se produce el intercambio de datos entre el gestor y el agente, es el punto de referencia para el protocolo CMIP, en la figura IV.25 se muestra la aplicación de TMN en la red SDH.

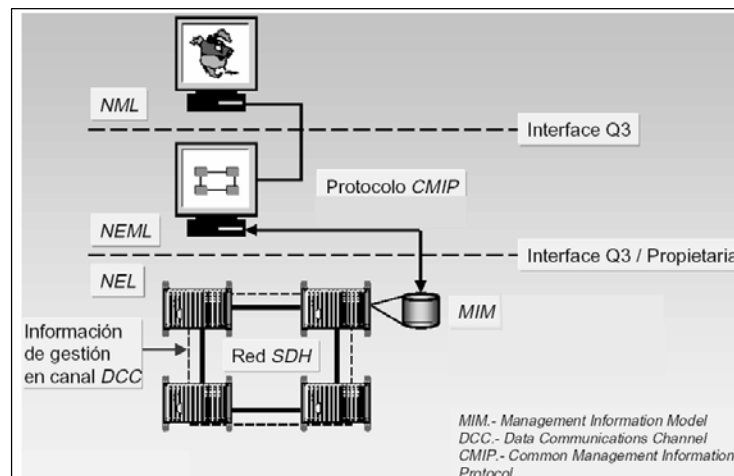


Figura IV.25 Aplicación de TMN en SDH



El intercambio de información TMN no suele requerir grandes cantidades de datos, la capacidad de los canales de control insertados (ECC) o la de los canales de comunicación de datos (DCC) es suficiente para la gestión de redes SDH, para la gestión de los elementos específicos de las redes SDH se aprovechan los canales D1 a D3 con una capacidad de 192 Kbps, los canales D4 a D12 con una capacidad de 576 Kbps pueden utilizarse para propósitos aun no definidos de las redes SDH.

Para distinguir la implementación en los canales de datos de la cabecera de sección (SOH) de la interfaz Q, se emplea el termino Protocolo QECC, las redes de este tipo se denominan SMN (Redes de Gestión SDH) y se encargan de la gestión de los elementos de la red.

En forma de resumen TMN es un sistema computacional basado en hardware y software que permite la administración integral de una red de telecomunicaciones.

Para lograr sus objetivos requiere de algunas estandarizaciones como de interfaces físicas, de funciones, de módulos de información, de protocolos y además una alta inversión, a partir de lo cual ofrece información en línea acerca de la red, una operación eficiente y reducción de costos.

Algunas de las funciones de la TMN para con la información de gestión son el transporte, procesamiento, almacenamiento, acceso y seguridad, además algunas de las aplicaciones son la administración de la configuración de nodos, falla en los enlaces y mejoramiento en la calidad del servicio.

## **CAPÍTULO V**

# **“APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE UNA RED EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE”**

## V.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

El principal objetivo de este proyecto es modernizar la tecnología de las telecomunicación existente con la que actualmente cuenta el sistema de transporte, la comunicación que se utilizan de estación a estación es únicamente por teléfono, también se utiliza un monitoreo de las unidades y lo que se pretende es implementar una estructura para aprovechar la evolución del uso de la fibra óptica para el transporte eficaz de datos, esto a su vez permitirá un aumento en la capacidad, calidad y confiabilidad de la información además permitirá una expansión en la red.

Se pretende implementar una red con la tecnología SDH debido a que esa jerarquía nos brinda un gran transporte flexible y eficiente de la información así como una mejor administración de los canales de comunicación.

La implementación del proyecto se realizará con anillos de fibra óptica los cuales servirán como medio de transporte por donde se enviará la información del Sistema de Transporte. El anillo de fibra óptica realizará la transferencia de información bajo la tecnología SDH por medio de un equipo Multiplexor que representará una plataforma multi-servicios IP que permitirá suministrar servicios de transporte de voz, datos y video, esto por medio de una interfaz 10/100 Base T.

La conexión del equipo a la interfaz 10/100 del multiplexor se llevará a cabo por medio de fibra óptica mono-modo o cable de cobre (UTP), esto dependerá de la distancia a la cual se encuentre el equipo. La red de comunicaciones deberá estar protegida, esto con el fin de asegurar la continuidad de los servicios. En caso de algún conflicto o problema la restauración del servicio deberá ser resuelto en 50 ms, conforme a las normas de SDH y también se debe garantizar que no exista interrupción de comunicación de las aplicaciones.

Para realizar lo antes mencionado, la red de comunicaciones cuenta con un sistema de gestión desde el cual se puede monitorear y administrar los equipos de comunicaciones de la red. Para la implementación del proyecto se deberá crear un sistema de respaldo el cual deberá funcionar como un sistema espejo del original, por lo que las características del software y hardware deberán ser compatibles.

El sistema de gestión de la red deberá indicar las alarmas relativas a problemas con la Red de Comunicaciones, es decir; falla de enlace, falla de algún nodo o falla de alimentación, la implementación de la red estará conforme a las normas y estándares internacionales establecidas por los organismos IEEE, ANSI, ETSI, ETSI, EIA/TIA, etc., en particular para el nivel de errores de transmisión.

Habrán un multiplexor en cada estación del Sistema de Transporte (cuartos técnicos), para ejemplificar se nombrarán 2 líneas, la línea A y la B de este Sistema de Transporte, los multiplexores se colocarán en el puesto central, uno dentro de los talleres y uno más en el puesto central de la otra línea (la B).

Los equipos de la red de comunicaciones deberán efectuar los siguientes procedimientos:

- Verificación de la correcta recepción de mensajes, en caso de rechazo, repetición del mensaje o alarma.
- Restauración de la red de comunicaciones de manera automática a continuación de un incidente de transmisión.
- El MTBF (Mean Time Between Failures/Tiempo Medio entre Fallos) del equipo de transmisión y entre cada elemento deberá ser superior a tres mil horas para un funcionamiento continuo.

Para la seguridad de la estructura de la red de comunicaciones, ésta se obtendrá por la independencia de los diferentes equipos. El equipo y materiales propuestos deben ser de fabricación de línea. Los protocolos de transmisión utilizados según las normas y estándares en vigor deberán garantizar el transporte de información.

La aplicación deberá tener conocimiento de la pérdida excepcional de una información que se está transmitiendo dentro de la red. En ningún caso, las fallas o perturbaciones en los circuitos deben traducirse en información irreal de un monitoreo o control y deben estar limitadas a la no ejecución de las mismas, siendo generada una alarma en el sistema de gestión de la red de comunicaciones. La red de comunicaciones deberá contemplar la auto-supervisión para identificar fácilmente cualquier falla de transmisión.

#### GENERALIDADES DE LA RED DE COMUNICACIONES

La red de comunicación para el proyecto estará compuesta por la Red de Transporte por Fibra Óptica SDH y la Red de acceso a la SDH.

La Red de Transporte por Fibra Óptica SDH estará formada por los equipos multipropósito; comúnmente llamados multiplexores, por los cables y por los accesorios de fibra óptica. La red SDH proporcionará el servicio de transporte a toda aquella información que se administrará en el Mando Centralizado, que necesite ser llevada de una estación a otra o de una estación a la PC, PCC, PDC, SEAT, etc., proporcionando un medio de transmisión confiable y seguro, que se administre y monitoree desde un sistema de gestión de la red.

La red deberá estar basada en tecnología SDH con capacidad STM-4 para este proyecto, teniendo la posibilidad de escalarse hasta STM-64 y DWDM soportado por el mismo equipamiento. Esta red se conformará por anillos de fibra óptica redundantes según las estaciones con que cuente la línea, para este proyecto se toma como referencia dos líneas del sistema de transporte, la *línea A*, que cuenta con 21 estaciones y la *línea B*, que tiene 12, estas dos líneas tienen en común una estación, en la cual unirán por medio de un multiplexor, los anillos estarán formados por el equipo multiplexor que se encontrará en cada estación enlazados por fibra óptica mono-modo con rangos de operación de 1285 nm a 1625 nm.

La topología de la línea B esta formada por dos anillos y una malla la cual se encarga de enlazarlos, en la línea A, la topología será en un solo anillo, esto se puede observar en la figura V.1.

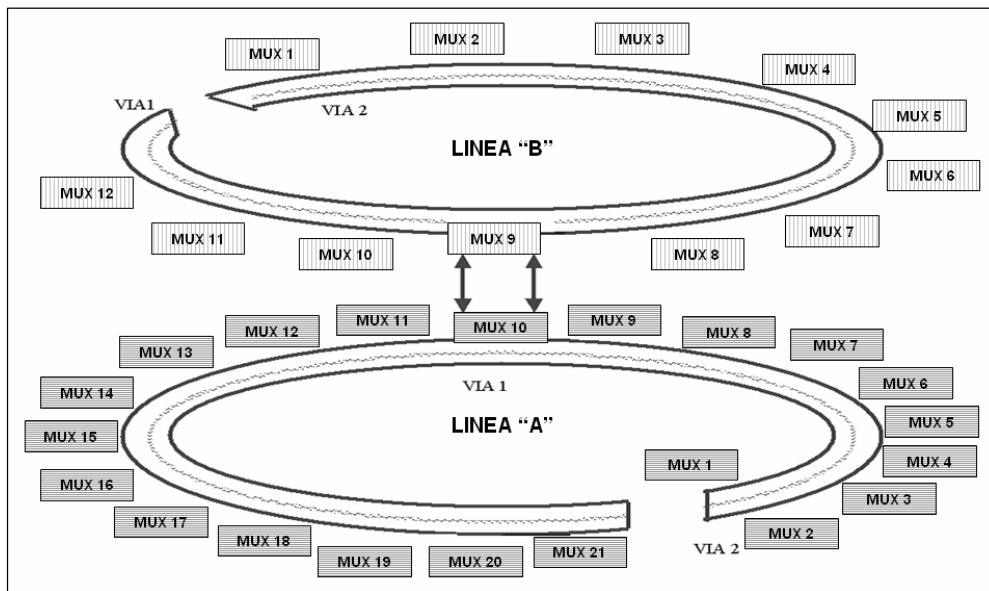


Figura V.1 Topología que se utilizará en las líneas A y B

Cada una de las estaciones que conforman la línea contará con un multiplexor para que de esta forma exista comunicación entre las estaciones y las diferentes áreas, como pueden ser el PDC (Puesto Despacho de Carga), el PCC (Puesto Central de Control), el PC (Puesto de control), la SR (Subestación de Rectificación) y la SEAT (Subestación de Alta Tensión), que son las áreas correspondientes desde donde se controla la energía, el tráfico, las señales y todo la información de las líneas que conforman el sistema de transporte.

Dentro de las tareas o funciones que deben realizar los multiplexores son las siguientes:

- Tomar la información del equipo de Mando Centralizado, transportarla a lo largo de la línea hacia su destino final, ya sea PDC, PCC, PC, SRs, SEAT y a las estaciones según se necesite y entregarla al equipo correspondiente de Mando Centralizado.
- Administrar el ancho de banda de la red SDH.
- Soportar el envío de señales en múltiples longitudes de onda simultáneas, esto sobre el mismo par de fibras.
- En caso de que un multiplexor se averíe o exista ruptura en un enlace, el equipo deberá presentar una alarma y autoconfigurarse de forma que no haya pérdidas en el transporte de información.

La Fibra Óptica tiene la función de proveer un medio confiable, seguro y de alta disponibilidad por donde se transporte toda la información entre los multiplexores. El sistema de Gestión tiene como función principal la administración de la red SDH además de realizar diagnósticos, monitorear y configurar los multiplexores y dispositivos de comunicación, siendo capaz de detectar cualquier avería en la red y presentar una alarma audiovisual que permita facilitar la atención oportuna e inmediata para solucionar las averías.

Los cables que formaran la Red de Comunicaciones SDH deberán cubrir los requisitos siguientes:

- Las características de la fibra óptica mono-modo a instalarse deberá de cumplir con las normas establecidas por los organismos internacionales.
- Todos los cables deberán contar con identificación visible y permanente tanto a la salida como a la llegada de los armarios, paneles y distribuidores ópticos.
- En los extremos del cable de fibra óptica mono-modo, los hilos deberán estar separados uno del otro y conectados directamente al distribuidor con identificación individual permanente.
- La fibra óptica mono-modo deberá carecer totalmente de empalmes en inter-estaciones.
- Los multiplexores deberán cumplir con los siguientes requisitos:
- Deben tener módulos comunes de alarma, de sincronía y de crossconexión (en alto y bajo orden) debiendo contemplar redundancia en la crossconexión y sincronía.
- Deberán de contar con 2 módulos STM-4 y 2 módulos Ethernet 10/100 BaseT con un mínimo 12 puertos cada uno.
- Tener capacidad para escalarse como mínimo a 4 enlaces STM -64 (10Gbps).
- Disponer de 8 ranuras (*slots*) como mínimo, con capacidad de escalarse a 8 enlaces STM -16 (2.5 Gbps).

#### RED SDH

Para este proyecto se contempla la implementación de la Red SDH para las líneas A y B, las cuales deberán ser totalmente compatibles con SDH y se requerirán de 13 multiplexores, aproximadamente de 34Km de fibra óptica mono-modo y sus accesorios, así como la configuración de los multiplexores para transportar la información de mando centralizado recolectándola por medio de dos puertos Ethernet (10/100 Mbps y conector RJ45) con enlace redundante. La topología de la red para línea A será en un solo anillo. También se deben de contemplar los armarios y respaldos de energía para cada uno de los multiplexores.

#### RED DE ACCESO A LA FIBRA ÓPTICA

Para el caso de la Red de Acceso se formará por los equipos de Mando Centralizado y su conectividad a la red SDH. La red de acceso deberá estar en conformidad con las funcionalidades, los criterios de seguridad de funcionamiento y la compatibilidad de los equipos que conforman la red SDH, definidos para esto. En donde se contemplen PLC's, se proporcionarán enlaces por fibra óptica multi-modo o cobre, dependiendo del tipo de PLC y a que distancia se encuentren éstos para acceder a la red SDH.

La red de acceso tiene la función de enviar y recibir la información del equipo de mando centralizado hacia la red SDH (los multiplexores).

Los elementos principales de la Red de Acceso son los siguientes:

- El Equipo de Mando Centralizado.
- Los Cables, conectores y convertidores para enlazar el equipo de Mando Centralizado y la red SDH.

El equipo de Mando Centralizado tiene entre otras funciones la de emitir y recibir la información que necesita ser transportada por SDH. La función de los cables y conectores es enlazar el equipo de mando centralizado y los multiplexores, proporcionando un medio confiable para la transmisión de la información, entregándola por medio de un cable de cobre 10/100 Base T, compatible con la interfaz proporcionada por el equipo multiplexor. Los convertidores de medios tienen la función de convertir el medio de comunicación eléctrico a óptico o viceversa, de tal manera que se pueda llevar la información del equipo de Mando Centralizado al Multiplexor.

Los cables que formarán parte de la red de acceso deberán cubrir los requisitos siguientes:

- Todos los cables deberán contar con identificación visible y permanente tanto a la salida como a la llegada de los armarios, paneles y distribuidores ópticos.
- En los extremos del cable de fibra óptica multi-modo, los hilos deberán estar separados uno del otro y conectados directamente al distribuidor con identificación individual permanente.
- La fibra óptica multi-modo; al igual que la mono-modo, deberá carecer totalmente de empalmes en inter-estaciones.

#### PARTICULARIDADES DE LA RED DE ACCESO A SDH

La red de acceso a SDH contempla el establecer la conectividad entre el mando centralizado y la red SDH de las líneas A y B para llevar su información de las estaciones al puesto central. Las líneas A y B tendrán el mismo equipamiento, para el enlace con el equipo de mando centralizado que se encuentra en las SR's, se deberá considerar fibra óptica multi-modo y los accesorios necesarios.

La implementación de este proyecto, al sistema de transporte, ayudará en lo siguiente:

- Un mejor y nuevo sistema de supervisión y control del suministro eléctrico con cobertura total.
- Una mejora en la red de datos sobre todas las estaciones, que actualmente tiene problemas de disponibilidad y pérdida de señales.
- El proyecto facilitará la operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento de los servicios de la red de transporte.
- También el proyecto deberá quedar con una capacidad para soportar la implementación y configuración de nuevos servicios a medida que el desarrollo y la operación lo exija.
- Y lo más importante es que brindará seguridad a la información y operación del sistema de transporte; debido a que la red se convierte en un canal de información se deben implementar controles que aseguren la disponibilidad, la integridad, la confidencialidad y el acceso solo a personal autorizado.

#### V.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para la implementación del proyecto deberá existir un sistema de cableado de fibra óptica el cual se dividirá en dos subsistemas, el subsistema de fibra mono-modo y el subsistema de fibra multi-modo.

El subsistema de Fibra Mono-modo será el encargado de enlazar los cuartos técnicos de estación con el cuarto local principal en donde se enlazan los dos anillos que comunicaran las líneas A y B, la terminación en las puntas de la fibra será con conectores SC mono-modo y se alojarán en los gabinetes de fibra óptica a utilizarse en cada uno de los cuartos.

El subsistema de Fibra multi-modo será el encargado de enlazar los paneles de distribución de la fibra multi-modo a los equipos PLC's, la terminación en las puntas de la fibra será con conectores ST multi-modo y se alojarán en los gabinetes de fibra óptica que se utilizarán en cada uno de los cuartos.

Como se muestra en la figura V.2, la topología que se ha contemplado es la de anillo, también se tiene en cuenta la instalación de la fibra por ambos lados de las vías de manera redundante, ya que con eso se garantiza la continuidad del servicio.

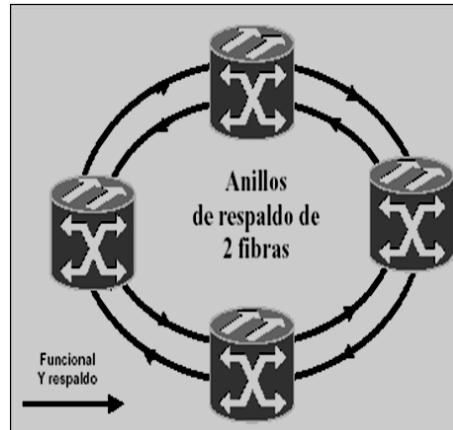


Figura V.2 Uso de doble fibra para el respaldo

Los equipos de comunicación estarán configurados por medio de anillos de protección compartida de dos fibras, en los cuales se tendrá un cable de fibra apuntando hacia una dirección y el otro en sentido opuesto, las dos fibras transportarán el tráfico de información desde los SR's hacia el SEAT, estas deberán estar configuradas para utilizar la mitad del ancho de banda entre los nodos adyacentes para el tráfico normal y reservando la otra mitad para los fines de protección.

El anillo de protección es una solución eficaz cuando el principal problema es la disponibilidad, esta configuración protege contra los cortes de cable y las fallas de nodo al proporcionar vías redundantes y diversas para cada tramo de transporte.

Los elementos críticos de la red SDH como lo son la matriz de crossconexión, la sincronía, el CPU, el enlace óptico y la alimentación, serán redundantes como ya se ha mencionado; con el fin de asegurar una continuidad de servicio permanente. La codificación de los mensajes y la utilización de procedimientos y estándares de transmisión eliminarán todo riesgo de errores de transferencia.

La puesta fuera de servicio de algún equipo de la Red de Acceso a raíz de una falla se llevará a cabo sin la mínima perturbación en el funcionamiento de conjunto de la red de comunicaciones.

La transferencia de información se realizará a través del anillo de fibra óptica mono-modo utilizando sistemas de comunicación con tecnología SDH, estos elementos de comunicación permitirán servicios de transporte de voz, datos y video.



Las conexiones de las SR's hacia la red se realizará mediante fibra óptica multi-modo, esta conexión se realizará desde los cuartos técnicos donde se encuentran los multiplexores hasta las subestaciones (SR's) donde estarán ubicados los PLC's. La siguiente figura V.3 muestra esta conexión.

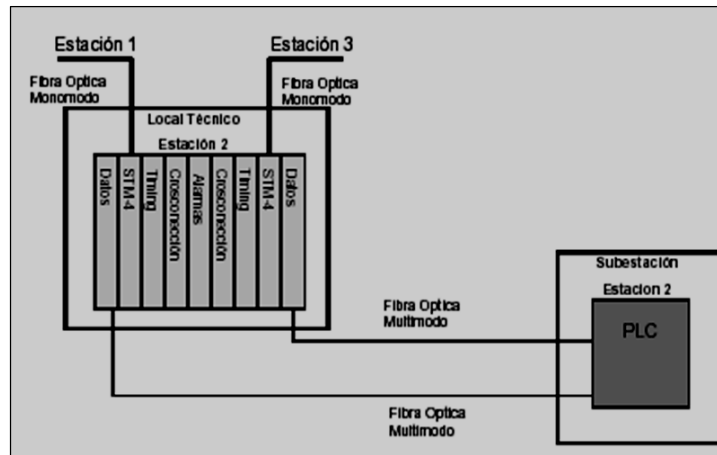


Figura V.3 Conexión de las SR's

Los multiplexores tendrán tarjetas SDH con una velocidad de 622Mbps (STM-4) para la comunicación entre las estaciones, esto permitirá el transporte del flujo de información requerida por el SEAT.

El Puesto Central (PC) asegurará el control de tráfico, alarmas de estación y la distribución de la energía de tracción y alumbrado. La información emitida por el PC, SEAT, PDC, SR's, etc., hacia las estaciones y viceversa, será transportada por la red de comunicación de manera segura y eficiente.

El acceso a la red de comunicaciones será de tipo cíclico y activado, es decir; que cíclicamente cada equipo instalado en la estación tendrá el derecho de emitir, pero la información prioritaria será emitida desde su aparición. Además de la información, el sistema de comunicaciones deberá indicar todas las alarmas relativas a problemas del sistema como falla de enlace, falla de equipo, falla de alimentación, etc.

El servicio suministrado por la red de comunicación deberá estar conforme a las normas y estándares internacionales establecidos por los organismos IEEE, ANSI, ETSI, EIA/TIA, etc., en particular para el nivel de errores de transmisión. Para esto habrá un equipo de comunicación en cada estación y uno más en PCCII, este sistema de comunicación efectuará los siguientes procedimientos:

- Verificación de la correcta recepción de la información, y en caso de rechazo, reenvío de la misma.
- Restauración automática del sistema de comunicación a intervalo regular y a continuación de un incidente de transmisión.
- El MTBF de cualquier conexión de transmisión entre cada elemento deberá ser superior a tres mil horas para un funcionamiento continuo.

La estructura de la red de comunicaciones estará formada por la Red de Transporte por Fibra Óptica SDH (RTFO) y la Red de Acceso SDH, la red será la encargada de transportar la información del mando centralizado a su destino final, la RTFO, la cual estará formada por los multiplexores, cables y accesorios de fibra óptica, cada uno de los multiplexores proporcionará

una interfaz 10/100 Base T para la conexión con el equipo de Mando Centralizado de las líneas, los principales elementos de la red de comunicaciones SDH son la fibra óptica mono-modo, los accesorios, los multiplexores con su respaldo de energía y los gabinetes.

### V.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Desde los primeros estudios hasta ahora la luz como fenómeno ha sido estudiado sucesivamente por tres teorías complementarias; la Óptica geométrica, que considera a la luz como compuesta de rayos y que originan Newton, Lenz y Leibnits y que fundamenta el estudio de los lentes, la teoría electromagnética que se desarrolla en el siglo XIX por Maxwell y que trata a la luz como una onda electromagnética que se propaga en los medios dieléctricos y la teoría cuántica a partir del siglo XX que considera a la luz como partículas elementales de energía o cuantos.

Las tres teorías representan una visión correcta pero con una aproximación de escala diferente. La teoría del rayo funciona bien para las dimensiones humanas conocidas en el orden de los mm. La teoría electromagnética es correcta cuando la dimensión espacial alcanza los  $\mu\text{m}$  (micrómetros  $10^{-6}$  m.) y la teoría cuántica analiza fenómenos en la región de los  $\eta\text{m}$  (nanómetros  $10^{-9}$  m.).

La óptica geométrica nos ayuda en la comprensión de la propagación de los rayos de luz dentro de la fibra. Al igual que los rayos de luz se reflejan en la frontera entre un vidrio cualquiera y el aire, la luz se refleja en la frontera entre dos tipos de vidrio (uno más denso, el núcleo y otro en la cubierta) si el ángulo de arriba del rayo es suficientemente pequeño. A este ángulo se le denomina ángulo crítico y determina el ojo de aceptación o ángulo de apertura de la fibra.

Este valor se conoce como Apertura Numérica y se puede observar en la figura V.4.

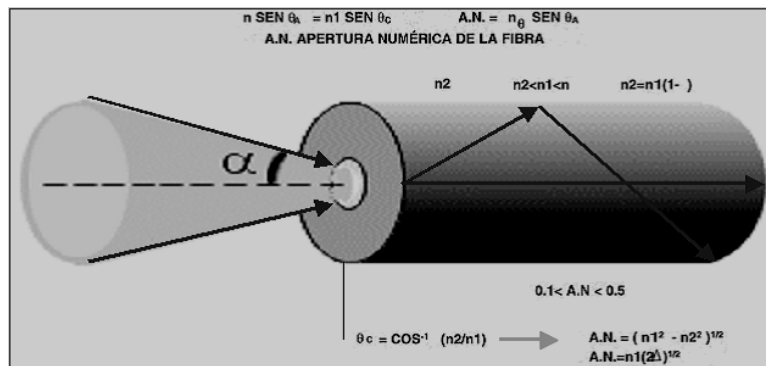


Figura V.4 Apertura Numérica de una fibra

Existen algunos tipos de fibra óptica entre los cuales se encuentra la fibra óptica de índice escalonado, esta es fabricada a base de vidrio, el núcleo esta constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es superior al de la cubierta que lo rodea, esto conlleva por consecuencia, una variación considerable en el índice, otro tipo de fibra óptica es la multi-modo de índice gradual, el principio de esta fibra se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza hacia la cubierta, aquí la luz se enfoca hacia el eje de la fibra, este tipo de fibras permiten reducir la dispersión entre los distintos modos de propagación a través de su núcleo; y por último la fibra óptica mono-modo, esta es la que ofrece mayor capacidad de transporte de información, pero a su vez, también es la más

difícil de implementar ya que solo se pueden transmitir los rayos luminosos a través del eje de la fibra.

En la figura V.5 se muestran los tipos de fibra óptica.

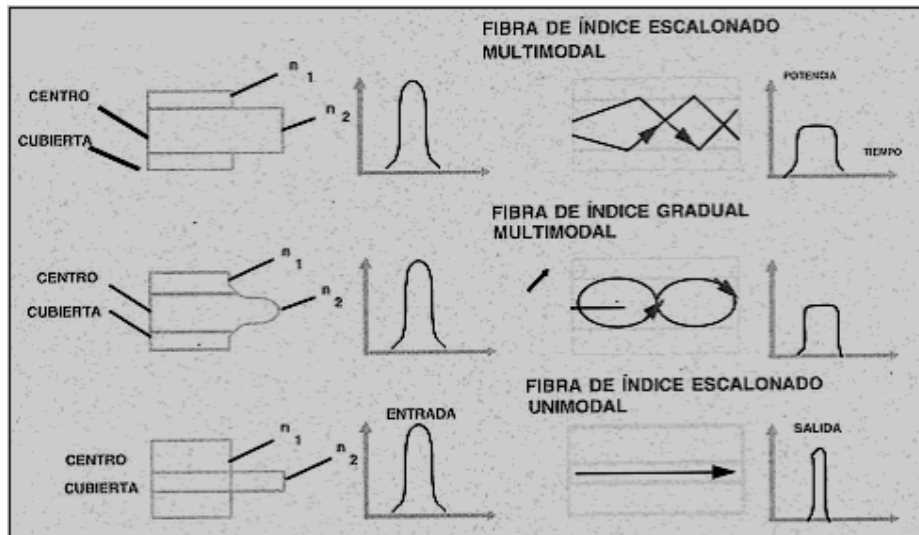


Figura V.5 Tipos de Fibra Óptica

La señal que percibimos en la punta de una fibra óptica es un conjunto de puntos de luz y oscuridad que se enciman. Esto es el resultado de los patrones de propagación de cientos de modos viajando por una fibra denominada multi-modal.

Cuando por algún método físico logramos aislar un solo modo de propagación, el patrón de luz que vemos a la salida de la fibra es armónico y representa la interferencia constructiva que da origen al modo. Esta luz proyectada sobre una pantalla lejana muestra un aro de luz alejado del centro.

Cuando se envía una señal a través de fibra óptica esta sufre atenuación, lo cual es causado por efectos de dos fenómenos, uno de ellos es la absorción, que es el proceso de conversión de la energía electromagnética en energía mecánica o calor y se da por la resonancia de los átomos del material con la frecuencia de la energía electromagnética, es la razón de la opacidad de los materiales a ciertas longitudes de onda y el otro efecto es el de la difusión por causa de cambios bruscos en el índice de refracción del material que causa que la energía óptica deje los modos guiados y en consecuencia la fibra, en la figura V.6 se ilustra la atenuación en la una fibra óptica.

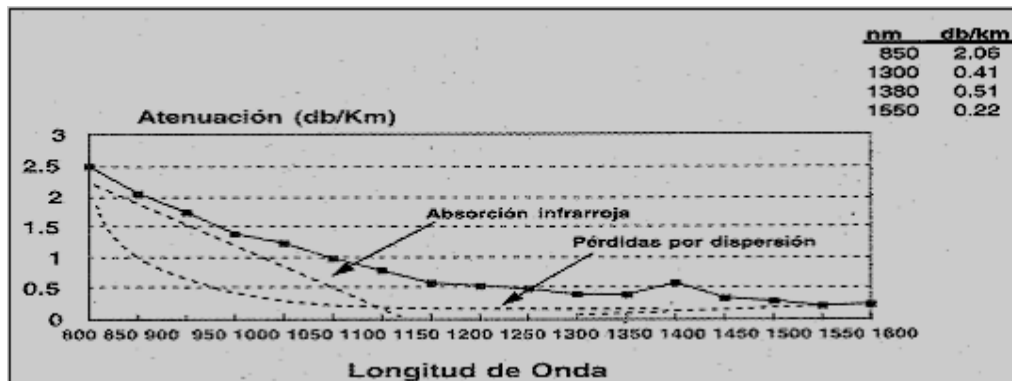


Figura V.5 Atenuación en la Fibra Óptica

Uno de los principales problemas en los transmisores de potencia óptica es el de la dimensión del área activa, esta debe ser pequeña por la dimensión de la fibra, pero esto implica una gran cantidad de potencia óptica y eléctrica en un volumen extremadamente reducido del semiconductor.

Para que el tiempo de vida sea más largo, es necesario que el cristal del semiconductor sea de gran pureza. Algunos de los requerimientos fundamentales para los sistemas de transmisión por fibra óptica son que las dimensiones de las fibras sean compatibles, que la longitud de onda tenga bajas pérdidas, alta eficiencia de conversión óptica-eléctrica, el ancho espectral reducido, la facilidad de modulación, velocidad de respuesta, estabilidad térmica, costo accesible y larga vida.

Los cables de fibra óptica debido a su fragilidad y tamaño requieren contar con elementos de protección, éstos evitan que agentes externos dañen la fibra óptica o que la rompan, también evitan que sufran cambios en sus características técnicas o que afecten la transmisión de la luz, en la siguiente figura V.6 se ilustran las protecciones que comúnmente se utilizan para la fibra.

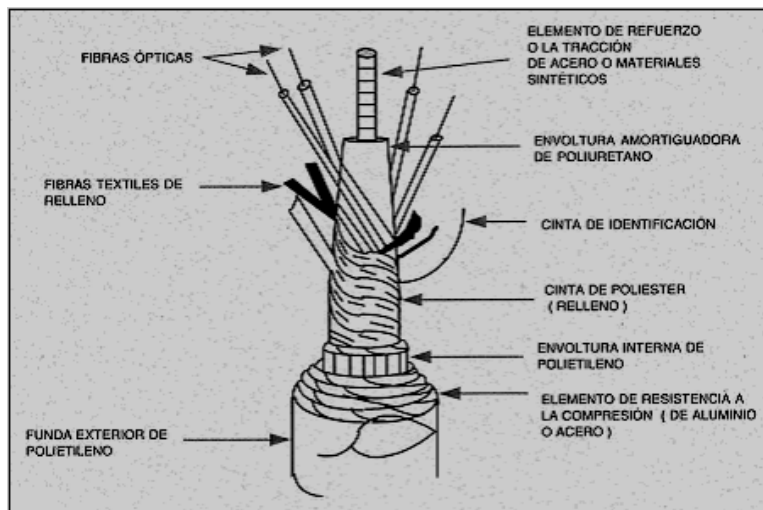


Figura V.6 Protección de la Fibra Óptica

Con el paso del tiempo se ha incrementado el uso de la fibra óptica, lo cual ha llevado a desarrollar una mejor estructura con la finalidad de soportar diferentes aplicaciones y a partir de esto se tienen diferentes tipos como se muestra a continuación en la figura V.7.

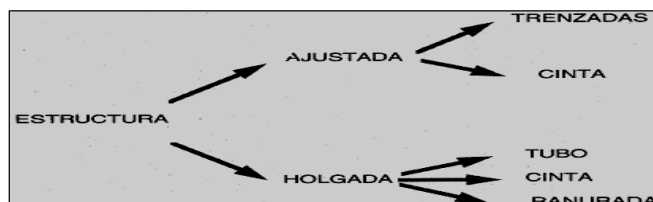


Figura V.7 Estructura de la Fibra Óptica

La estructura ajustada esta formada por un tubo de plástico, dentro de él se encuentra de forma estable el conductor de fibra óptica puede ser mono-modo o multi-modo. En la estructura holgada en lugar de introducir un solo conductor se introducen de dos hasta doce conductores en

una cubierta mas grade que en la estructura ajustada, en este tipo de estructura se recubre todo el conjunto con un gel para evitar que penetre el agua en caso de ruptura del cable.

Al escoger un cable de fibra óptica se deben analizar con detalle las especificaciones del mismo, ya que de ella depende la eficiencia de los enlaces, dentro de las características que se deben tomar en cuenta para elegir están las siguientes:

- Características constructivas:
  - Tipo de cable,
  - peso unitario y
  - longitud de embarque.
- Características ambientales:
  - Temperatura de trabajo y
  - condiciones del medio ambiente en donde estará expuesta.
- Propiedades mecánicas:
  - Resistencia de atracción, compresión radial, flexión, abrasión, vibración y doblado,
  - radio mínimo de curvatura y
  - alargamiento máximo de cable sin que la fibra sufra daño.

También se deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Longitud máxima de fabricación.
- Requerimiento de conexión de equipo transmisor y receptor.
- Croosconexión.
- Mantenimiento.
- Tipos de conectores a utilizar.
- Tipo de empalme (unión por calor o contacto)

Existen otras especificaciones que deben tomarse en cuenta y que son muy importantes; como la perdida en la conexión, ya que la luz al viajar por el conductor sufre perdidas debido a que no viaja por el mismo medio, aunque las fibras tengan las mismas características, estas perdidas están relacionadas con el empalme de la fibra y el tipo de conector.

Las perdidas relacionadas con la fibra óptica se puede deber a que exista un desplazamiento lateral, esto debido a que las fibras no son alineadas correctamente y por lo tanto la luz no pasa completamente de una a otra, también puede ser debido a que existe separación, si esto sucede la luz no pasará eficientemente, en la figura V.8 se muestran las causas de perdida de señal.

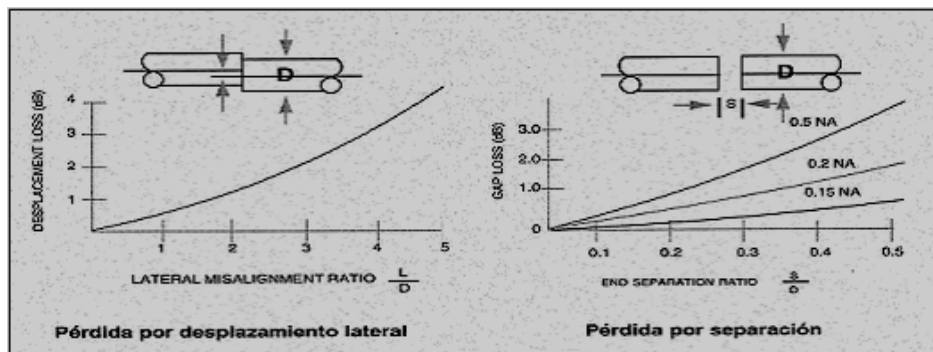


Figura V.8 Perdidas de conexión

Las pérdidas por factores relacionados con el conector se pueden deber a una mala conexión lo que provocara pérdidas por desplazamiento angular como se muestra en la figura V.9, pueden existir varios ángulos de incidencia de los rayos de luz y muchos de ellos llegan a superponerse sobre todo, de esta manera la información no se recibirá de forma correcta.

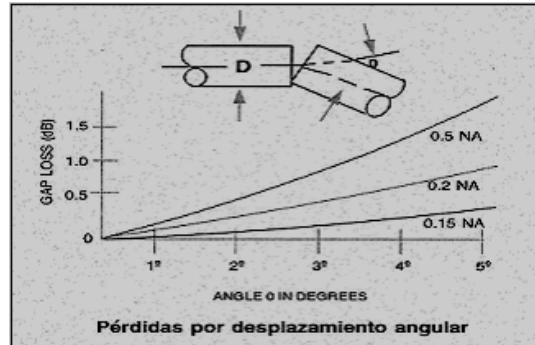


Figura V.9 Pérdidas por desplazamiento angular

Es importante también, tomar en cuenta algunas consideraciones para la instalación de la fibra, se debe contemplar el radio de curvatura mínimo, la máxima tensión y caída vertical del cable, como lo muestra la figura V.10.

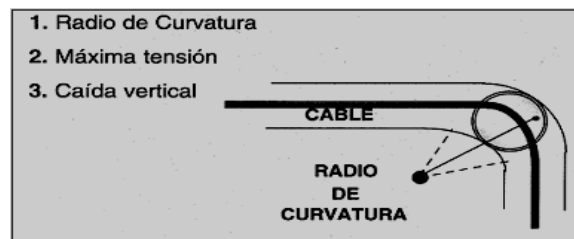


Figura V.10 Radio de curvatura

Una vez de haber realizado y tomado en cuenta todas las recomendaciones se determina que la fibra óptica también deberá de cumplir con la norma internacional ITU-T G.652.C para poder transmitir la información en todo el espectro de longitud de onda de 1280 a 1625 nm que incluye las bandas de 1350 a 1450 nm, así como tener un buen desempeño para trabajar en las bandas “C” y “L” (1530 y 1625 nm), útil para la telefonía, redes privadas y para transmitir datos y señales CATV, voz y servicios de video, además de ofrecer la transmisión por la misma fibra del mayor número de canales DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

Para el proyecto se utilizarán dos tipos de fibra óptica, la fibra mono-modo y la multi-modo, estas fibras deberán cumplir como ya se mencionó con la norma G.652.C.

La fibra mono-modo que se utilizará será la Fibra All Wave de la marca OFS, esta es la primer fibra de espectro completo de la industria, esta diseñada para los sistemas de transmisión óptica que opera sobre toda la gama de longitudes de onda de 1280 nm a 1625 nm, esta fibra permite aumentar la capacidad de las redes ópticas, mediante el aprovechamiento de la banda de los 1400 nm.

Su manufactura permite eliminar el pico de agua convencional de manera permanente y se obtiene una atenuación a 1400 nm menor que a 1310 nm, además cumple con la norma G652.C, sus características son ideales para redes de datos de alta velocidad, su gran flexibilidad para el diseño de redes la hace óptima para aplicaciones ópticas metropolitanas locales y de acceso.

Esta fibra proporciona más de un 50% más de longitudes de onda utilizables que la de una fibra convencional, al abrir el espectro completo de onda ofrece una máxima flexibilidad de actualización, gran potencial para sistemas ópticos y un máximo aprovechamiento de longitudes de onda para tecnologías DWDM.

La otra fibra a utilizar será la fibra multi-modo que será usada para distancias menores, deberá tener las dimensiones de 62.5/125 micras.

La fibra multi-modo que se propone es el cable OFS OPTION 1, la cual tiene una construcción en la capa exterior con una cubierta resistente a flamas, de baja emisión de humos y cero halógenos, apropiada para su uso en interiores, en el interior de la cubierta se encuentra una lamina corrugada de acero que provee protección contra los roedores así como contra presiones extremas sobre el cable protegiendo de esta forma las fibras interiores.

Por debajo de la lámina corrugada el cable cuenta con un centro dieléctrico y tubos holgados que es donde se alojan las fibras, éstas se encuentran ordenadas en grupos de seis fibras por tubo con una cantidad pequeña de gel lubricante que permite un mejor manejo de la fibra sin causar tensión en ella durante la instalación, otra ventaja de esta fibra es que cuenta con una tela absorbente entre los tubos y el interior de la cubierta que impide la humedad.

El bloque básico de construcción del cable de tubo holgado como se muestra en la figura V.11, consiste en tubos buffer termoplásticos conteniendo de 1 a 12 fibras ópticas sueltas, para formar el núcleo del cable, los tubos buffer individuales son colocados alrededor de un elemento central de fuerza que puede ser de plástico reforzado de vidrio o acero, al incrementar el número de fibras se requiere reforzar el elemento central de fuerza para mantener la geometría apropiada durante el proceso de colocación también debe existir un espacio apropiado entre los tubos buffer adyacentes para permitir que los materiales que bloquean el agua penetre a través de los elementos del núcleo.

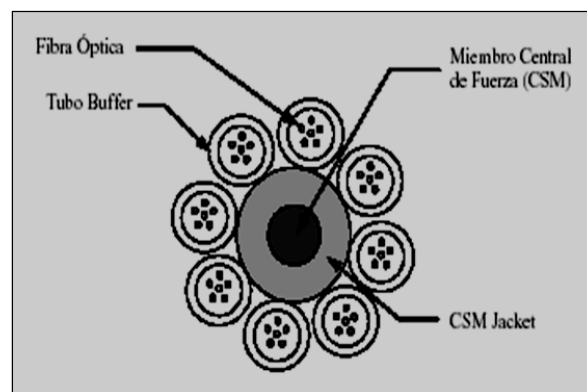


Figura V.11 Cable de tubo holgado

La fibra óptica multi-modo de 62.5/125 micras es una fibra optimizada para trabajar entre 850 y 1300 nm, tiene un perfil de índice de refracción controlado de baja atenuación y alto ancho de banda para ambas longitudes de onda además esta diseñada para soportar condiciones ambientales extremas.



De acuerdo a lo mencionado de cómo elegir la fibra óptica, para este proyecto se determinó que esta debe de contar también con las siguientes características para su mejor aprovechamiento:

Diámetro de campo modal (modo de propagación):

$9.30 \pm 0.50 \mu\text{m}$  en 1310 nm.

$10.50 \pm 1.00 \mu\text{m}$  en 1550 nm.

Coefficiente de Atenuación:

A 1310 nanómetros  $\leq 0.40$  dB/Km.

A 1385 nanómetros  $\leq 0.31$  dB/km.

A 1550 nanómetros  $\leq 0.25$  dB/Km.

Tipo de dispersión en las fibras:

Normal

Punto De Discontinuidad:

$\leq 0.10$  dB a 1310nm ó a 1550 nm.

Atenuación en el Pico De Agua:

La atenuación en  $1383 \pm 3$  nm  $\leq 0.31$  dB/Km.

Atenuación vs longitud de onda:

Rango (nm) Referencia  $\lambda$  (nm) Máximo Incremento  $\alpha$  (dB/Km.)

1285-1330 1310 No más a 0.10 dB/Km.

Longitud de onda de corte:

( $\lambda_{ccf}$ )  $\leq 1260$  nm

Longitud de Onda con cero dispersión 1300 – 1322 nm

Pendiente de dispersión cromática 0.092ps/nm<sup>2</sup>-Km.

El cable de 24 fibras ópticas mono-modo deberá tener una cubierta interna metálica corrugada de acero (anti-roedores), esto para ser instalado en ductos subterráneos, trincheras o charolas, con un elemento central dieléctrico, la cubierta exterior será de polietileno, cero halógenos, anti-flama y baja emisión de humo, de color negro con cintas e hilos de material plástico, el diámetro del cable debe ser menor o igual a 15.4 mm, la masa del cable debe ser menor o igual a 280 Kg./Km., el radio mínimo de curvatura igual a 10 x diámetro exterior del cable sin carga y 15 x diámetro exterior del cable con carga, temperatura de operación de -40°C a 70°C de acuerdo a las normas IEC 60794-1. El cable deberá tener una resistencia a la compresión de por lo menos 44.8 Kg./cm., también deberá tener sistema de protección contra agua.

Las Normas que se deben cubrir son las siguientes:

*Código de Colores:* EIA/TIA 568 A

*Cero halógenos:* IEC 754-1 e IEC 754-2

*Baja emisión de humos:* UL 1685

*Anti-flama:* Normas a cubrir Acidez/Corrosión, Anti-flama, Cero emisión de humo, Toxicidad y desempeño Mecánico y Ambiental: IEEE383, UL 1666 Riser Rated, UL 1685, IEC 332 Parte 3, IEC 1034-2, IEC 754-2, UL 1685, BellCore GR-20 y 409 Core, FT4/IEEE 1202, TIA/EIA 455, CSA FT4).



Las fibras serán agrupadas cada una en un Tight-Buffered y presentadas en un tubo holgado, de tal forma que proporcione cero tensión a las fibras, manteniendo un doblado y una tensión mínima, así como resistencia a la compresión y al impacto facilitando la realización de los empalmes.

La identificación de las fibras serán; como ya se mencionó, por colores y grupos de acuerdo a la norma TIA/EIA-598<sup>a</sup>. El cable deberá estar rotulado, con tinta indeleble, contra los rayos ultravioleta indicando tipo de cable, fabricante y longitud marcada, en la figura V.12 se ilustra la fibra óptica que se utilizara.



*Figura V.12 Cable a utilizar en el proyecto*

Los distribuidores ópticos que se utilicen en esta red deberán ser diseñados principalmente para el alojamiento y protección de las fibras ópticas, se debe de contar con espacio suficiente y adecuado donde se tengan todas las fibras que se estén utilizando.

La referencia primaria que se tomará en cuenta para las pruebas de la fibra óptica, es el ANSI/TIA/EIA-568-A en el anexo H. Este documento describe los criterios de prueba y recomendaciones mínimas de desempeño en un sistema de fibra óptica. El estándar ANSI/TIA/EIA-526-7 indica los procedimientos para verificar fibra óptica mono-modo, el estándar ANSI/TIA/EIA-526-14 indica los procedimientos para verificar fibra óptica multi-modo y la serie de estándares TIA/EIA-455 y TIA/EIA- 526 proveen procedimientos de pruebas uniformes para sistemas de fibra óptica. Las pruebas básicas a las que debe ser sometido el sistema de fibra óptica son:

- Cada carrete de cable de fibra óptica debe ser probado en continuidad.
- Cada segmento de fibra debe ser verificado, asegurarse que funciona apropiadamente y en el rango dentro de sus especificaciones.
- Y también se debe verificar el enlace completo de dispositivo a dispositivo.

#### **V.4 ESPECIFICACIÓN DE LOS MULTIPLEXORES Y ACCESORIOS**

Se requieren que los multiplexores funcionen como puntos nodales para formar la Red de Transporte por Fibra Óptica; nodos de donde se puedan tomar o agregar los diversos servicios que prestará esta red. Se requiere un dispositivo modular multipropósito con capacidades de multiplexor SDH, conmutador de red y acceso óptico, esto para ser utilizado como punto de agregación o derivación de servicios como voz, video y datos compatibles con Ethernet 10/100 BaseT autocensados y Gigabit Ethernet, a este dispositivo se le conoce como Crossconector.

Las topologías que serán soportadas son punto a punto, lineal, anillo, estrella, malla, multi-anillo con soporte de cierre mínimo de 5 anillos en el mismo sistema y esquema de protección de anillo para 2 o 4 fibras.

Los servicios que se podrán brindar serán de voz, video y datos para transporte óptimo a través de redes metropolitanas, incluyendo TDM, IP, ATM y video, Ethernet de 10/100 Mbps con autocensado, y 1000 Mbps (Gigabit Ethernet), de acuerdo con IEEE 802.3, además de poder soportar etiquetas 802.1q y VLAN basados en puertos a fin de aislar lógicamente el tráfico de distintas aplicaciones. Soporte de al menos 500 VLAN's y al menos 8000 direcciones MAC y con la capacidad de escalarse a DWDM.

Se tendrá capacidad de conmutación capaz de soportar una administración completa del ancho de banda y conmutación de paquetes, a través de su matriz de crossconexión, la cual deberá de ser sin bloqueo y con capacidad de al menos 60 Gb, equivalente a crossconexión de 384x384 VC-4.

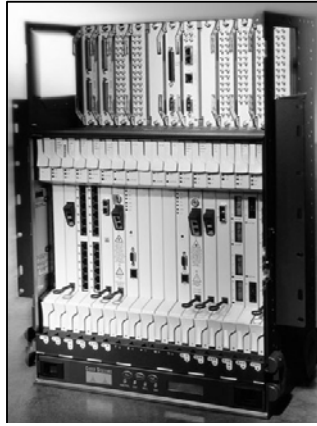
Los diversos módulos que se empleen estarán concentrados en una repisa única la cual debe tener acceso a todos los módulos y conectores, con soporte de una o más Interfases por ranura en la repisa, que permita la integración de cualquier servicio de red de manera transparente.

Los elementos de enlace e iluminación deberán estar concentrados en una repisa con acceso a todos los módulos y conectores, que soporte una o más interfaces por ranura en la repisa y que permita la integración de cualquier servicio de red de manera transparente. Todos los puertos, hasta de 10 Gbps, deberán ocupar una sola ranura en la repisa, en configuraciones de uno o más puertos por tarjeta. La alimentación deberá ser por corriente directa. Deberán tener la capacidad de soportar una completa administración de ancho de banda y conmutación de paquetes.

Los elementos para el enlace de fibra óptica deberán operar a una velocidad de 622 Mbps sobre la fibra mono-modo, con capacidad de crosconectar velocidades de hasta 10Gbs en la misma repisa, cambiando sólo las tarjetas ópticas o usando otras, y tener la capacidad de aprovisionarse para carga concatenada y no concatenada por VC-4, para transmitir información en las bandas de 1300 y 1550 nm. Deberán contar con la capacidad para aprovechar el ancho de banda de la fibra óptica, además debe contar con la infraestructura para soportar en el mismo sistema el envío de señales en múltiples longitudes de onda simultáneas, sobre el mismo par de fibras, con la adición de los módulos o tarjetas correspondientes. A su vez, también deberán poder suministrar en la misma repisa, enlace compartido múltiple para interconexiones de LAN a clientes con capacidades de 10/100 Mbps con autocensado, y 1000 Mbps (Gigabit Ethernet), de acuerdo con IEEE 802.3, también debe soportar etiquetas 802.1q y VLAN basados en puertos a fin de aislar lógicamente el tráfico de las distintas aplicaciones críticas. Debe soportar transporte Ethernet punto a punto, punto multipunto y anillo de paquete compartido para optimizar el uso del ancho de banda en la fibra óptica. La tarjeta de puertos Ethernet a 10/100 deberá tener al menos un mapeo y la capacidad hacia el anillo SDH en un contenedor del tipo VC-4.

Con estos elementos se eliminará la necesidad de operar redes separadas para datos y voz, al suministrar apoyo nativo para los servicios TDM y protocolos LAN. Debe ofrecer un conjunto completo de interfaces de servicio desde 2 Mbps hasta 10 Gbps y velocidades de red LAN a 10,100 y 1000 Mbps. El sistema debe tener la habilidad de conjuntar diferentes puertos 10/100 sobre uno o varios puertos de 1000 Mbps. Las redes de datos 10, 100, 1000 Mbps deberán de compartir anchos de banda simultáneamente de manera de no desperdiciar anchos de banda exclusivos en los enlaces.

Los equipos seleccionados para el proyecto son los crossconectores Cisco ONS 15454 que se muestra en la figura V.13, estos son equipos de transporte óptico multiservicios que permiten combinar la funcionalidad de las tecnologías SDH, Ethernet y crossconector digital.



*Figura V.13 Equipo Cisco ONS 15454*

Este equipo permite la transmisión de señales ópticas a tasas de STM-4 y hasta STM-64, cuenta con interfaces ópticas para múltiples alcances de distancia, permiten ser instalados en redes con topología lineal, malla y de múltiples anillos interconectados; además cuenta con diversos mecanismos de protección de los circuitos con tiempos de restauración menores a los 50 ms, estas características proporcionan una gran flexibilidad en la creación de redes con topologías variadas, garantizando la máxima disponibilidad de la red así como continuidad de los servicios que están implementados en ella, incluyendo aplicaciones de misión crítica que requieren disponibilidad constante de la red.

En el lado tributario cuenta con diversas interfaces como E1, E3, STM-1, STM-4, Ethernet a 10 y 100 Mbps y Gigabit Ethernet, incluyendo también funcionalidad de conmutación de paquetes y funciones LAN, VLAN y priorización de tráfico, esta versatilidad brinda la conexión de múltiples tipos de equipos y aplicaciones simultáneas a la red con un uso óptimo del ancho de banda.

Otra importante característica de este tipo de equipos es que están diseñados para soportar altas temperaturas de los -40 a +65 grados centígrados sin humedad densa, las cuales se pueden presentar en los cuartos técnicos, debido a la diversidad de condiciones ambientales estos dispositivos se instalarán dentro de armarios cerrados que contarán con ventiladores y extractores de aire con la finalidad de mantenerlos dentro del rango de -40.5 a 56.7 grados centígrados que es la temperatura adecuada.

El equipo ONS 15454 cuenta con dos repisas la superior y la inferior, la superior es la que provee el acceso por la parte frontal a todos los cables de las interfaces eléctricas, a la de sincronía, a la de alarma y al puerto de administración, esta se muestra en la figura V.14, los cables de fibra óptica son accesibles desde el frente pero no forman parte de ella.

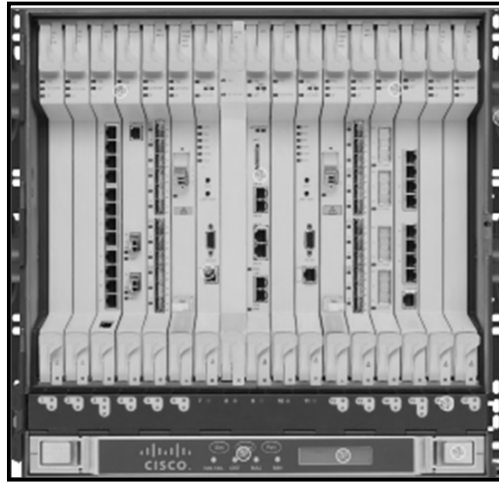


Figura V.14 Vista frontal del ONS 15454

La repisa superior contiene 12 ranuras, numeradas del 18 al 29; de la 18 a la 22 y de la 25 al 29 soportan los módulos FMEC que son los conectores eléctricos montados frontalmente y las ranuras 22 y 24 soportan los módulos para los conectores de control de timing, administración básica, potencia y conectores de alarma.

La repisa inferior cuenta con 12 ranuras que se utilizan para las tarjetas de interfaz de servicios y 5 ranuras que se utilizan para tarjetas de control del sistema.

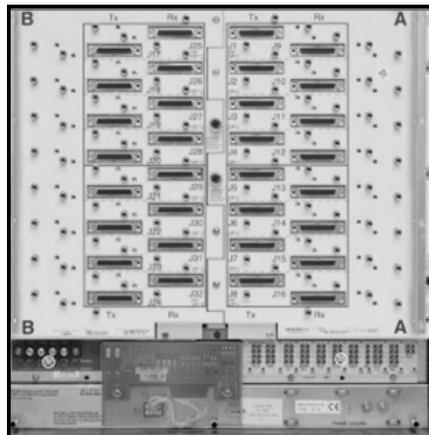


Figura V.14 Vista trasera del ONS 15454

Las ranuras de propósito general de la 1 a la 6 y de la 12 a la 17 soportan los módulos de interfaz de servicios como son el transporte óptico, tributarias y datos, todas las ranuras, excepto la 6 y la 12, soportan capacidades desde E1, E3, E4 hasta STM-1, también hay ranuras de alta velocidad (5, 6, 12 y 13) que permiten el despliegue de interfaces de hasta STM-64, mientras que las ranuras universales (de la 1 a la 4 y de la 14 a la 17) soportan hasta STM-16.

Otros dispositivos contemplados son los convertidores de medios FIBER-TWIST Modelo 1140, estos elementos permitirán la conexión desde los puertos Ethernet de los módulos de datos en los equipos ONS 15454 a los paneles de distribución de la fibra óptica multi-modo,

así como también la conexión de la fibra a los dispositivos de censado PLC's en los SR's, estos módulos convierten a nivel de transporte de información Ethernet sin la adición de retrasos como cuando se utilizan repetidores, además cuenta con una tecnología que permite el censado del medio de manera bidireccional y la conexión de segmentos distantes con mínima atenuación.

Otra parte muy importante dentro de este proyecto de la instalación de la red de fibra óptica es el subsistema de administración de cableado (componentes de administración y conexión cruzada), como lo son bloques y paneles de distribución o paneles de parcheo.

Los componentes que se van a utilizar para el subsistema de administración de cableado son de la marca OFS Brighthwave, existen fundamentalmente los siguientes componentes de administración: los paneles de parcheo, pigtailed, organizador de empalmes y cajas de interconexión de fibra óptica.

Los distribuidores ópticos a utilizar en esta red son diseñados principalmente para remate, alojamiento y protección de las fibras ópticas, como una etapa intermedia en la instalación de los equipos de telecomunicación, con el fin de contar con un espacio adecuado donde se tengan todas las fibras que se estén utilizando.

Los paneles de distribución estarán conformados por los siguientes elementos:

- Distribuidor óptico equipado con 48 puertos tipo SC tipo mono-modo con accesorios de alojamiento y protección de las fibras, para montaje en armario con rack de 19"
- Distribuidor óptico equipado con 96 puertos tipo SC tipo mono-modo, con accesorios de alojamiento y protección de las fibras, para montaje en armario con rack de 19".

Para ambos casos el número de fibras que se conectarán serán 12 de las 24 con las que cuenta el cable de fibra mono-modo AllWave Option 1, que llegan de las estaciones subyacentes, las fibras restantes descansarán en las repisas de alojamiento que se consideraron para la protección de las mismas.

- Distribuidor óptico con 8 puertos tipo ST tipo multi-modo, con accesorios para remate, alojamiento y protección de las fibras, para montaje en armario con rack de 19"
- Distribuidor de cableado UTP categoría 5 equipado con al menos 24 puertos RJ45.

Los armarios a instalar deberán de ser como se muestra a continuación en la figura V.16.

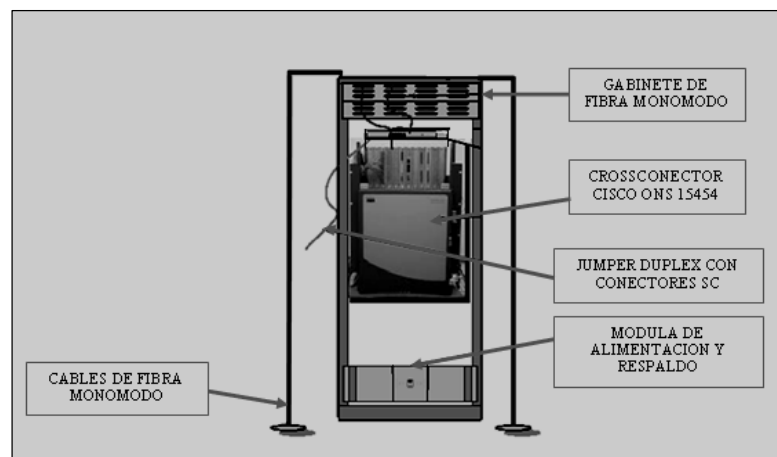


Figura V.16 Armarios

El rack interno debe ser de 19 pulgadas y 210 cm de altura con puerta frontal y trasera, tapas laterales desmontables, rejillas de ventilación, además deben contar con ventilador y extractor de aire.

Se contará con un sistema de gestión integrado en forma gráfica, que simplifique el control de los nodos y permita la activación de los mismos, además deberá tener la capacidad de hacer un análisis de tráfico y de realizar diagnósticos esto para llevar una administración correcta de la Red.

Para realizar un administración y control óptimos, el ONS 15454 cuenta con un software llamado CTC (Cisco Transport Controller), este programa es una aplicación de Java, lo cual facilita su manejo, no necesitará de una instalación en una PC en específico, este contará con interfaz gráfica que proporcione servicios de detección de alarmas y configuración de los equipos. Una de las grandes ventajas que ofrece este software es que solo se necesita un navegador y la aplicación de Java, además el sistema incluye una gestión que simplifica el control de los nodos, la fácil activación de los mismos, aprovisionamiento de circuitos autoenrutados y una rápida creación de servicios. También cuenta con una base de datos que almacena toda la información de la Red de transporte y las actualizaciones de software.

Los elementos de enlace deberán incluir el protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*), esto con el fin de poder ser monitoreados, este protocolo permite realizar un servicio de administración de la red a través de una consola, es decir, una estación de administración, cada uno de los equipos puede tenerlo sin ningún problema, una de las ventajas de este agente es que almacena estadísticas en una base de datos de administración del equipo (MIB Management Information Base) la cual se puede consultar, modificar o recibir notificaciones de eventos ocurridos, además este el SNMP permite detectar fallas antes que se manifiesten a los usuarios, corregir problemas rápidamente y planear el crecimiento y evolución de la red.

Para la protección los elementos deberán contar con una arquitectura redundante en sus elementos críticos: matriz de crossconexión, sincronía, CPU, enlace óptico y alimentación. Además de contemplar empleo de vías redundantes y geográficamente diversas para proteger contra cortes de cable y fallas de nodo, mediante esquemas de anillo de protección para 2 o 4 fibras, anillo de protección compartida, anillo virtual, y esquemas de protección en una topología de malla. Deberá soportar cierre de hasta cinco anillos en el mismo sistema con al menos un anillo en MS -SPRing. Estos elementos de enlace de la fibra en caso de fallas deberán tener un tiempo de restauración de servicio menor o igual a 50 ms.

El servicio de acceso a la RTFO está formado por los PLCs y su conectividad al convertidor de medios eléctrico/óptico, el cual a su vez está conectado con los multiplexores de la Red SDH. En todos los casos deberá estar en conformidad con las funcionalidades, los criterios de seguridad de funcionamiento y los criterios de compatibilidad de los equipos.

La red SDH que se implementará en estas líneas, tendrá la funcionalidad de transportar la información (datos) de otros proyectos convergentes, como lo son videovigilancia, redes de datos, tarjeta inteligente, telefonía, entre otros. La red SDH tendrá presencia en todas las estaciones y dará servicio a todas aquellas áreas que necesiten llevar información de una estación al PDC, PC, PCC, SRs, SEAT y otras estaciones según sea el caso.

## V.5 MANTENIMIENTO

Para que el desempeño de la red este completo y no muestre indisponibilidad, es necesario que los equipos estén soportados por equipos de suministro eléctrico, estos equipos de respaldo se pueden instalar en los racks, esto con el fin de garantizar la regulación de la energía y la continuidad en el suministro de la misma para evitar cortes inesperados.

Uno de los principales problemas en las redes SDH es el relacionado con la sincronía, esto es causado por las diferencias que existen entre los relojes de los nodos, desviación de frecuencia y diferencias de fase lo cual se refleja en la señal a través de los punteros.

Una de las formas para determinar que los equipos están funcionando de manera adecuada es realizando las pruebas de medición de Jitter y Wander, esto se puede lograr con dispositivos externos a la red que verifican la funcionalidad de los equipos que la forman, así mismo tienen la capacidad de monitorear y detectar movimientos de punteros, capturan y decodifican los mensajes de la señal de sincronización transmitidos, este tipo de dispositivos pueden ser utilizados durante la instalación y para brindar mantenimiento.

Para que la red funcione de forma adecuada y se pueda brindar un mantenimiento óptimo cuando se requiera o en caso de alguna falla cada uno de los equipos de la red de comunicaciones será concebido de tal manera que contemple lo siguiente:

- Modularidad funcional.
- Buena accesibilidad de las piezas y de las tarjetas electrónicas.
- Intercambiabilidad del equipo.
- Facilidad de desmontaje de ciertas partes, por ejemplo las tarjetas de enlace óptico, las tarjetas de servicios, etc.
- Con detalle y precisión las fallas señalizadas, indicando su estado de forma automática.
- Señalización de las fallas de equipo local y a distancia, con el fin de facilitar la reparación de la falla y evitar los desplazamientos inútiles.
- Utilización de componentes que ofrezcan garantías seguras y rápidas de aprovisionamiento.
- Accesibilidad a la parte posterior de los armarios.

Además cada elemento deberá de contar con la documentación adecuada, así como los manuales, los cuales deben contener la información y la forma correcta de operación para mantener su funcionamiento y proporcionar mantenimiento si es necesario.

Otra parte importante para el buen y correcto funcionamiento de la red es la gestión de esta; debe comprender las labores de Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento (OAM&P), a través de esta gestión se deberá tener la información de todas las novedades que se presenten en el sistema SDH, de esta forma se podrá realizar en forma remota todas las configuraciones y parametrizaciones de cualquiera de los multiplexores de la red, además este sistema contará con las licencias necesarias para cubrir por total la red.

La herramienta de gestión deberá permitir un control centralizado de la red permitiendo el manejo de diferentes usuarios con diferentes perfiles, este gestor deberá contar con lo siguiente:

- Interacción total con los elementos de la red SDH,
- Visualización gráfica, atención remota e historia de alarmas y fallas,
- Configuración remota de todos los elementos de a red,
- Respaldo y restauración de la configuración da cada elemento,
- Control de todos los parámetros de la red,



- Visualización gráfica de toda la red y sus indicadores de desempeño, con la posibilidad de trabajar con los datos para la generación de estadísticas y la
- Administración y configuración a través de consola y por medio de un navegador.

Éste sistema de gestión deberá estar soportado por un equipo adecuado para la correcta implementación del servicio, además deberá ser un componente de alta disponibilidad ya que será utilizada por el personal para realizar diagnósticos y aprovisionamiento.

El dispositivo ONS 15454 para este proyecto tiene la ventaja de permitir ser administrado por medio de un software integrado como ya se había mencionado, además también tiene la característica de lograr administrar la red, la administración de este elemento se logra con el Controlador de Transporte de Cisco (CTC), este controlador tiene una interfaz gráfica fácil de utilizar.

El CTC es un software de administración de red que soporta interfaces de programación basadas en JAVA, lo cual da un amplio acceso a la red a través de un programa de navegación por Internet, esto permite al administrador de la red una activación de circuitos rápida y fácil con menor probabilidad de errores, también este controlador proporciona el auto-descubrimiento de los elementos de la red por medio de las direcciones IP asignadas, puede brindar una representación gráfica de la red, alarmas de informes de eventos, configuración de equipos, administración de circuitos y monitoreo de desempeño.

Este software brinda una gran operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento de los recursos esto por medio del puerto de administración que se encuentra dentro de la repisa superior.

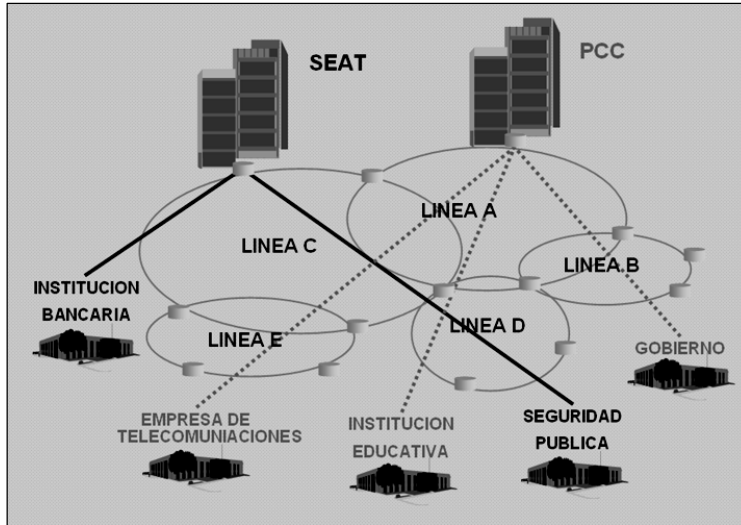
Además de este software, el dispositivo ONS 15454 cuenta con una pantalla que se encuentra en la parte frontal de la repisa que puede ayudar para tener acceso rápido a la información de las ranuras y los puertos y además soporta alarmas visuales en cada tarjeta.

De acuerdo a lo expuesto, los equipos deberán recibir mantenimiento adecuado para asegurar su disponibilidad continua, el mantenimiento a los equipos se deberá realizar de acuerdo a las especificaciones y en el intervalo de tiempo que recomienda el proveedor, el personal que realice el mantenimiento deberá documentar todas las fallas reales detectadas, así como el mantenimiento preventivo y correctivo.

También se recomienda documentar todas las actividades que realicen tanto el administrador como el operador del sistema, esto para llevar una bitácora de los eventos detectados.



Una gran ventaja que nos brinda SDH es que después de su implementación, esta podrá extenderse hacia las demás líneas y también podría tener enlace con algunas otras instituciones importantes para aprovechar al máximo el ancho de banda que nos brinda la fibra óptica, en la figura V.17 se muestra como existiría el enlace entre las otras líneas y con algunas instituciones.



*Figura V.17 Aplicación a futuro de la red SDH*

Una gran utilidad que brindaría la implementación de la red SDH es que no solo podrá interconectar instituciones de gobierno, si no que además podría interconectar Escuelas y proporcionar un mejor desarrollo y formación para los estudiantes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo en lo expuesto en esta tesis se ha confirmado que cualquier institución necesita contar con una red que respalde su funcionalidad y su intercomunicación, para que de esta forma se resuelvan los problemas que lleguen a presentarse de forma rápida, esto con el fin de que crezca, sea competitiva y eficaz en los servicios que ofrece.

La tecnología SDH proporciona un sistema altamente robusto que permite la conectividad al 100% de la infraestructura en donde se implemente, dentro de un sistema de transporte es muy importante que la comunicación este siempre activa y disponible, para que en el momento en que se necesite se pueda utilizar para resolver algún conflicto.

Durante el desarrollo de esta tesis se notó que la implementación de este tipo de tecnología brinda a la institución que la utilice, grandes crecimientos en cuanto a la comunicación y muchas más aplicaciones en el futuro, ya que la infraestructura de una empresa que utilice fibra óptica permitirá ofrecer servicios de conectividad a diferentes empresas o incluso a universidades.

En el transcurso de la tesis se determinó que por encima de otras tecnologías como la Ethernet, SDH integra lo mejor en cuanto a redes se refiere, debido a que son redes de transporte de la capa 1 y permiten encapsular sobre sí cualquier tipo de información o tramas, además también de que explota al máximo el ancho de banda disponible, también otra ventaja visible es que SDH define las tramas y niveles de jerarquía para todas las tasas de transmisión que se puedan generar en el futuro, esto permite, que si el ancho de banda crece no será necesario modificar la red actual.

Otra parte importante de SDH, es que permite utilizar la topología de anillo con caminos redundantes, esto hace a estas redes tener mayor estabilidad, robustez y disponibilidad, además de que los esquemas de protección sobre las redes permiten que el servicio sea recuperado automáticamente después de una falla, asegurando la restauración en 50 ms, además de que también los equipos SDH son fabricados con grandes niveles de disponibilidad.

Por las características anteriores SDH es la opción óptima para la implementación dentro de un sistema de transporte, ya que esta jerarquía le ayudará a brindar un mejor servicio, así también podrá proporcionar mayor seguridad, comunicación eficaz, una mejor vigilancia y muchas más aplicaciones en el futuro.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Sistemas de telefonía,**

José Manuel Huidobro Moya,  
Ed. Thomson.

### **Redes de datos y convergencia IP,**

José Manuel Huidobro Moya,  
Ed. Alfaomega

### **Sistemas de comunicación digitales y analógicos,**

Leon W.  
Ed.

### **Introducción a las telecomunicaciones modernas,**

Enrique Herrera,  
Ed. Limusa.

### **Sistemas de Comunicación Electrónicos,**

Wayne Tomasi,  
Prentice Hall.

### **Sistemas Electrónicos de Comunicaciones,**

Roy Blake,  
Ed. Thomson.

### **SONET/SDH Demystified: SDH DEMYSTIFIED,**

Shepard Steven,  
Mc Graw Hill.

### **Optical Fiber Systems,**

Charles K. Kao,  
Mc Graw Hill.

### **Telecommunication Transmission Systems,**

Robert G. Winch,  
Mc Graw Hill.

### **Telecommunication transmission handbook,**

Roger. L. Freeman,  
Willey InterScience.

### **Diplomado de Telecomunicaciones,**

ASERCOM.

### **Cisco ONS 15454 Reference Manual,**

Product and Documentation Release 9.0, 2008

*Páginas Web consultadas*

**<http://www.cisco.com>**

**<http://www.mailxmail.com>**

**<http://telecom.fi-b.unam.mx>**

**<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~comunica>**

**<http://www.iec.org>**