



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA

UNIDAD CULHUACAN

TESINA

Seminario de Titulación:
"Las tecnologías aplicadas a las redes de computadoras"
FNS 5092005/05/2008

IMPLEMENTACION DE WDM EN UNA RED SDH

Que como prueba escrita de su
examen Profesional para obtener
el Título de: Ingeniero en
Comunicaciones y Electrónica

Presenta:

OLIVARES DURAN ALEJANDRO
REYES SEGOVIANO EMANUEL
ZAMARRIPA SANCHEZ CESAR



México D.F

Enero 2009.

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN
TESINA**

FOR LA OPCIÓN DE	SEMINARIO DE TITULACIÓN DESISEIME-CULC0920034052003
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE	INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
PRESENTAN:	OLIVARES DURAN ALEJANDRO REYES SEGOVIANO EMMANUEL ZAMARRIPA SANCHEZ CESAR

IMPLEMENTACIÓN DE DWDM SOBRE UNA RED SDH

LA PROPUESTA ES LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA, ESTO ES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE DWDM EN LAS FIBRAS EN TELECOMUNICACIÓN, LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM, DEL INGLÉS WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING) ES UNA TECNOLOGÍA QUE MULTIPLEXA VARIAS SEÑALES SOBRE UNA SOLA FIBRA ÓPTICA MEDIANTE PORTADORAS ÓPTICAS DE DIFERENTE LONGITUD DE ONDA, USANDO LUZ PROCEDENTE DE UN LASER O UN LED. EXISTEN DOS VARIANTES EN LA TECNOLOGÍA WDM QUE HAN SIDO DESARROLLADAS: MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING) MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA GRUESA (CWDM COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING) DWDM SE CARACTERIZA POR TENER UN ESPACIAMIENTO ENTRE CANALES MÁS ANGOSTO QUE CWDM, POR LO TANTO DWDM OFRECE MÁS CAPACIDAD QUE CWDM.

CAPITULADO

INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES ÓPTICAS.
CAPÍTULO 2 SISTEMAS PDH Y SDH.
CAPÍTULO 3 SISTEMAS DWDM Y CWDM.
CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA
GLOSARIO

México D.F., 17 de Enero de 2009

M. en C. Diana Salomé Vázquez Estrada
Coordinador Académico del Seminario

Ing. Patricia Cortés Pineda
Asesor.

Ing. Ignacio Manroy Ostria
Jefe del Departamento de Ingeniería
en Comunicaciones y Electrónica

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.	1
JUSTIFICACIÓN.	1
OBJETIVOS.	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN A LAS REDES ÓPTICAS.	
1.1. Historia.	2
1.2. Óptica.	3
1.3. Fenómenos Ópticos.	4
1.4. Polarización.	5
1.5. Dispersión.	6
1.6. Difracción.	7
1.7. Fibra Óptica.	8
1.8. Causas de la PMD.	11
1.9. Dispersión Cromática.	12
1.10. No Linealidades.	13
1.11. Ventanas de Operación.	14
1.12. Tipos de Fibra Óptica.	15
1.12.1. Multimodo.	16
1.12.2. Monomodo.	17
1.12.3. Monomodo Estándar.	17
1.12.4. Fibra Óptica de Dispersión Desplazada.	18
1.12.5. Fibra Óptica de Dispersión Desplazada No Nula.	18
1.12.6. Fibra Óptica de Cristal Fotónico.	19
1.12.7. Fibra Óptica de Plástico.	19
CAPÍTULO II. SISTEMAS PDH Y SDH.	
2.1. SISTEMAS PDH.	20
2.2. MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM).	21
2.2.1. Muestreo.	21
2.2.1.1. Teorema de Nyquist	21
2.2.1.2 Filtro Pasa Bajas.	22
2.2.2. Cuantización.	23
2.2.2.1. Método de cuantización lineal.	24
2.2.2.2. Método de Cuantización No Lineal.	25
2.2.2.3. Leyes de Compansión.	26
2.2.3. Codificación.	27

2.2.3.1. Código Natural.	27
2.2.3.2 Código Simétrico.	27
2.3. CÓDIGOS DE LÍNEA.	29
2.3.1. Código NRZ.	29
2.3.2. Código AMI.	30
2.3.3. Código HDB3.	30
2.3.4. Código CMI.	31
2.4. ELEMENTOS DE MULTICANALIZACIÓN.	31
2.4.1. Estructura de la Trama de 32 Canales.	32
2.4.2. Estructura de la Trama de 24 canales.	33
2.4.3. Objetivo de TDM.	33
2.5. TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE PDH.	34
2.5.1. Antecedentes Históricos.	34
2.5.2. Desventajas de PDH.	35
2.5.3. Ventajas de PDH.	36
2.5.4. Sistema PCM de 30 Canales 1er Orden.	36
2.5.5. Jerarquías de Multiplexación.	40
2.5.6. Equipos y aplicaciones.	41
2.6. SISTEMAS SDH.	42
2.6.1. Antecedentes.	42
2.6.2. Características de SDH.	43
2.6.3. Velocidades de SDH.	44
2.6.4. Estructura General.	45
2.6.5. Multiplexación SDH.	46
2.6.6. Estructura de trama STM-1.	48
2.6.7. Encabezados de VC-4.	50
2.6.8. Mapeo.	51
2.6.9. Apuntadores.	53
2.6.10. Formación de una Trama STM-1 a partir de 2Mbps.	54
2.7. REDES DE TRANSPORTE SDH.	57
2.7.1. Multiplexor Síncrono (MUX).	58
2.7.2. Enrutador digital (SDXC).	59
2.7.3. Multiplexor para insertar/obtener (ADM).	59
2.7.4. Regenerador síncrono (REG).	59
2.7.5. Topologías de Redes SDH.	60

2.7.6. La Sincronía en equipos SDH.	60
2.7.7. Recomendaciones de UIT-T para SDH.	62
2.7.8. Generales.	63
2.7.9. Las principales ventajas que ofrece la comunicación por Fibra Óptica.	66
CAPITULO III. SISTEMAS DWDM Y CWDM.	
3.1. WDM	67
3.1.1. Variantes en WDM.	67
3.1.1.1. DWDM.	68
3.1.1.2. CWDM.	69
3.2. DWDM VS CWDM.	70
3.3. Uso de WDM.	71
3.3.1. Componentes de WDM.	71
3.3.2. Amplificación Óptica.	71
3.3.3. Regeneradores.	72
3.3.3.1. Tipos de regeneradores.	72
3.3.3.2. Amplificadores Ópticos.	72
3.3.3.3. Tipos de Amplificadores.	74
3.4. Técnicas para la Compensación de Dispersión.	75
3.5. Fibra Compensadora de Dispersión.	76
3.6. Diseño usando Compensación de dispersión Cromática.	78
3.7. Arquitectura y Topologías de Redes WDM.	78
3.7.1. Topología Punto a Punto.	79
3.7.2. Topología de Anillo.	79
3.7.3. Topología de Malla.	80
3.8. Clasificación de las Redes Ópticas.	81
3.9. Redes de Acceso Metropolitanas.	82
3.10. Redes Metropolitanas Centrales.	83
3.11. Redes de Larga Distancia.	84
BIBLIOGRAFÍA.	85

INTRODUCCIÓN.

Desde hace varios años se conocen las propiedades de la luz y sus aplicaciones, sin embargo al usarla para aplicaciones de telecomunicaciones es algo relativamente reciente que ha evolucionado a una velocidad grande.

Hoy en día, los operadores de telecomunicaciones cuentan con miles de kilómetros de fibra óptica instalada, de igual forma existe un incremento en las capacidades requeridas de transporte sobre dichas fibras. Esto ha provocado que siga un desarrollo en esta área.

Es importante entender la naturaleza de la luz así como los fenómenos que ésta presenta para poder entender y proponer mejoras a los sistemas existentes.

JUSTIFICACIÓN.

Debido a la entrada en el mercado de las telecomunicaciones, con la Red de Fibra Óptica Nacional, seguir creciendo como empresa y competir en este ámbito. Así como esperar que con dicha competencia los servicios ofrecidos tengan un costo accesible para la población en general.

OBJETIVOS.

Con el constante cambio en las tecnologías de telecomunicaciones, se hace necesaria la actualización de la Red Nacional de Fibra Óptica, esto es mediante la implementación de WDM en dicha Red.

Derivado de la apertura el ramo de las telecomunicaciones previendo su Red, pretende ofrecer y satisfacer servicios de transporte a la diversidad de clientes en el país.

I. INTRODUCCIÓN A LAS REDES ÓPTICAS.

1.1 HISTORIA.

En 1870, John Tindall demostró que la luz sigue la curvatura de un flujo de agua vertiéndose de un contenedor como se ilustra en la figura 1-1. Este principio tan simple, fue un motivo de estudio y desarrollo de aplicaciones basados en este fenómeno.

John Logie Baird patentó un método de transmitir luz a través de una barra de vidrio para ser utilizada en un rustico televisor en color, pero los materiales de la época hicieron este proyecto inviable.

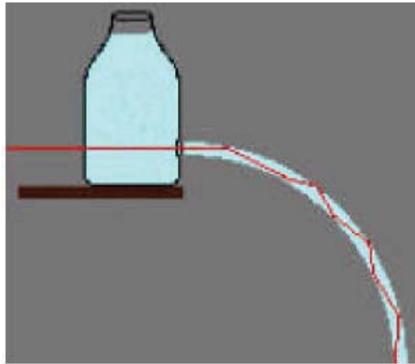


Figura 1-1.- Experimento de John Tindall.

En 1950, fue un año de cierto éxito en la transmisión de imágenes por medio de fibra óptica, y en particular en el mundo médico, ya que se empezó a utilizar en algunos instrumentos médicos.

En 1966 Charles Kao y George Hockman propusieron la transmisión de información sobre fibra de vidrio, y sugirieron que una menor cantidad de cables era posible.

Estas fueron las bases para mejorar las pérdidas de señal óptica que hasta el momento eran significativas y no permitían un buen aprovechamiento de esta tecnología.

Hoy en día, se ha minimizado enormemente estas pérdidas si las comparamos con el proyecto inicial de Kao y Hockman.

1.2 OPTICA.

Cuando hablamos de la energía emitida por el Sol nos referimos a la luz; más específicamente a ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas se distinguen unas de otras por su frecuencia (ciclos por segundo) o su longitud de onda. Las ondas más largas (de menor frecuencia) son las ondas de radio, cuya longitud de onda puede ser de más de mil kilómetros, hasta unos cuantos metros. Las ondas electromagnéticas de longitudes entre un metro y un milímetro se llaman microondas y tienen frecuencias mayores que las ondas de radio. Siguen después los rayos infrarrojos, que son las ondas electromagnéticas que se encuentran entre microondas y el rojo, que es el primer color, o la frecuencia más baja que el ojo humano puede detectar. Entre 700 y 400 milimicras de longitud de onda se encuentran las ondas electromagnéticas visibles (ver figura 1-2), que es lo que propiamente llamamos luz, y va desde el rojo hasta el violeta. Solamente en este rango de longitudes de onda es sensible el ojo humano; las frecuencias correspondientes para el intervalo visible son de cientos de billones de ciclos por segundo. Las ondas electromagnéticas de frecuencias más altas que las visibles (longitudes de onda más cortas) son: la luz ultravioleta, los rayos X. Todas estas ondas constituyen el espectro electromagnético.

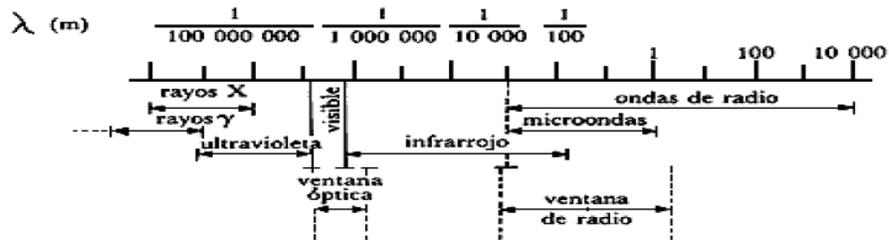


Figura 1-2.- Longitudes de onda visibles.

1.3 FENOMENOS ÓPTICOS.

La luz presenta diversos fenómenos asociados, sin embargo los que son de mayor relevancia en las telecomunicaciones ópticas son aquellos que tienen que ver directamente con el comportamiento de la luz sobre un medio.

Es decir la luz viajando sobre una fibra óptica presenta ciertos fenómenos que son más acentuados que otros.

Los fenómenos de mayor relevancia son la polarización, la dispersión y la difracción, como se puede observar en la figura 1-3.

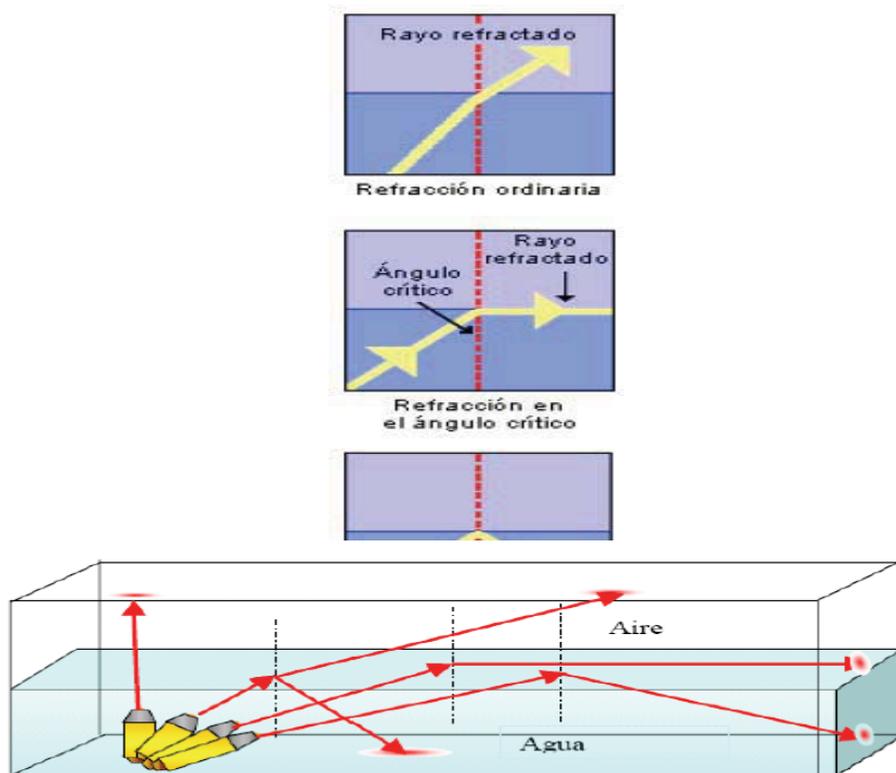


Figura 1-3.- Tipos de Refracción.

1.4 POLARIZACIÓN.

Una onda transversal es aquella en la que la propiedad (vectorial) que vibra lo hace en una dirección perpendicular a la dirección de propagación. Una onda transversal puede ser polarizada, esto se puede observar en la figura 1-4.

Esto consiste en que la propiedad que vibra, lo haga de un modo predecible, por ejemplo, si la vibración es siempre paralela a una dirección fija tenemos polarización lineal.

Si el vector que describe la vibración rota a una frecuencia dada perpendicular a la dirección de propagación tenemos una onda con polarización circular.

La existencia de fenómenos de polarización de la luz reside en el hecho de que la luz es una onda trasversal; lo que oscila en este caso son los campos eléctrico y magnético, que tienen carácter vectorial.

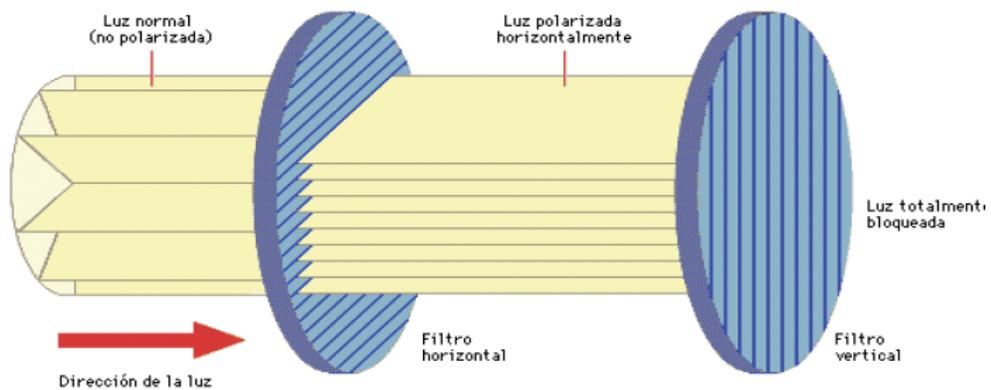


Figura 1-4.- Polarización Horizontal.

1.5 DISPERSIÓN.

Ya sabemos que la luz que produce el sol la llamamos luz blanca. En realidad la luz blanca es una luz producida por una mezcla de diferentes colores. Cuando observamos el arcoíris podemos ver los colores que compone la luz blanca.

Este fenómeno, conocido como dispersión, se produce cuando un rayo de luz compuesta se refracta en algún medio quedando separados sus colores constituyentes.

La dispersión es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son mas o menos dispersivos y la dispersión afecta a todas las ondas.

Cuando la luz blanca, compuesta por ondas de todas las frecuencias dentro de una gama visible, pasa a través de un bloque de vidrio, los diferentes colores son refractados o desviados en distinta medida. Si los lados del bloque no son paralelos, los diferentes colores de la luz se propagan con ángulos distintos, produciendo un espectro. Ver figura 1-5.

La dispersión se debe a que la velocidad de una onda depende de su frecuencia. Por ejemplo, las ondas luminosas de diferente longitud de onda tienen velocidades de propagación distintas en el vidrio, por lo que son refractadas en diferente medida.

El resultado de la dispersión es un espectro, y su estudio es la base de la espectroscopía, una de las disciplinas que más a contribuido al conocimiento actual del universo.

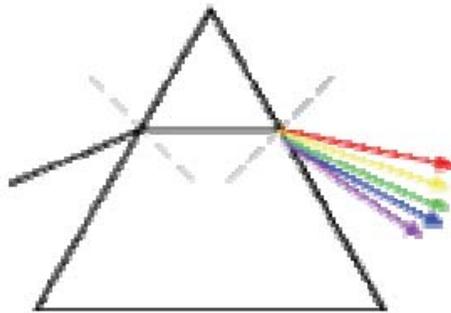


Figura 1-5.- Difracción de la luz blanca.

1.6 DIFRACCIÓN.

La llamada difracción de la luz, fue descubierta en 1665 por el italiano F. M. Grimaldi. Este hizo una pequeña perforación en la persiana de su ventana, que daba al sol; en la trayectoria de la luz que paso, colocó un pequeño objeto y observó con detenimiento la sombra que proyectaba sobre una pantalla. Figura 1-6.

Encontró que el extremo de la sombra no era nítido si no difuso, y que además se formaban bandas de color en donde se alternaban regiones iluminadas y oscuras.

De otras observaciones que hizo, llegó a la conclusión de que la luz se voltea al rededor de los bordes de obstáculos opacos iluminados por una fuente de muy pequeña luz.



Figura 1-6.- Experimento de Grimaldi.

1.7 FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos (ver figura 1-7). La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna.

Uno de los beneficios mas importantes en la industria es su inmunidad a lo que llamamos Interferencia ElectroMagnética (EMI, Electro Magnetic Interference), y también por el hecho de que no sea conductor de la electricidad, puede ser usado en lugares donde se necesite un aislamiento de la electricidad. La fibra óptica no supone un riesgo para el entorno como puede ocurrir con otros materiales más contaminantes. Otro añadido es el aspecto de la seguridad, ya que es muy complicado poder filtrar las señales de datos para leer la información que contiene.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original.

El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica, (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

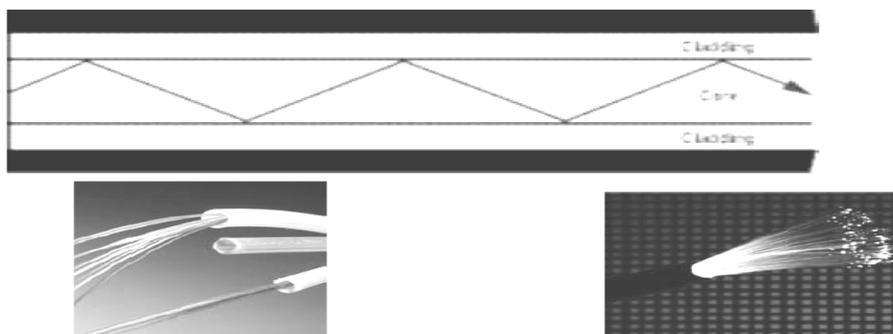


Figura 1-7.- Tipos de Fibra Óptica.

La mayoría de las fibras ópticas se hacen de arena o sílice, materia prima abundante en comparación con el cobre con unos kilogramos de vidrio pueden fabricarse aproximadamente 43 kilómetros de fibra óptica .

Los dos constituyentes esenciales de las fibras ópticas son el núcleo y el revestimiento el núcleo es la parte mas interna de la fibra y es la que guía la luz. Ver figura 1-8.

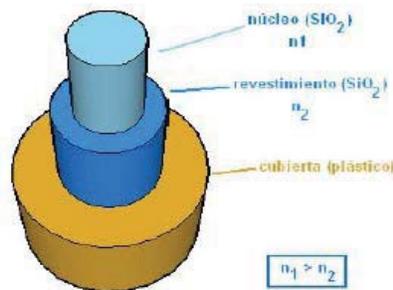


Figura 1-8.- Constitución de la fibra óptica.

Debido a sus mínimas pérdidas de señal y a sus óptimas propiedades de ancho de banda, la fibra óptica puede ser usada en distancias más largas si la comparamos con el cable de cobre. Su peso y tamaño reducido las hace ideales en muchos entornos donde el cable de cobre se.ría impracticable. Usando multiplexores, una sola fibra puede reemplazar cientos de cables de cobre.

La fibra óptica presenta ciertas características para los sistemas de transmisión óptica, conforme avanza la tecnología de fibra óptica se ha logrado reducir las características no deseadas en dichas fibras, sin embargo, también conforme se avanza en dicha tecnología las necesidades y requerimientos de sistemas ópticos de alta velocidad hace que se presenten nuevas características no deseadas en la fibra.

Las principales características a observar son:

Atenuación.

Dispersión de Polarización.

Dispersión Cromática.

Efectos no lineales.

La atenuación es una de las características mas buscadas en los sistemas ópticos, esta determina el presupuesto energético a utilizar tanto en transmisores como en sensibilidad en receptores.

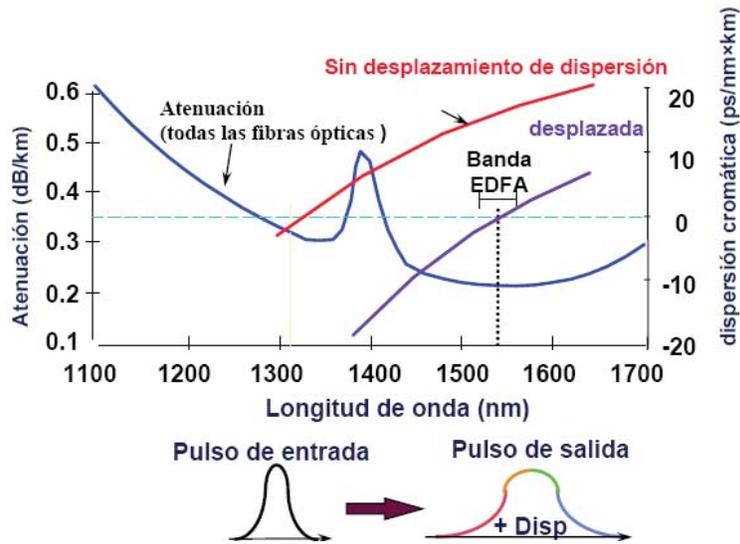


Figura 1-9.- Atenuación y Dispersión.

Otra característica importante es la dispersión, esta empezó a ser notable cuando los requerimientos de velocidad de transmisión fueron creciendo.

La dispersión en modo de Polarización o PMD es un parámetro óptico importante para la operación exitosa de los sistemas amplificados.

Debido a que las señales en los sistemas amplificados viajan mas lejos antes de volverse a regenerar, se acumula el efecto de degradación de la PMD de la fibra óptica. El requerimiento de PMD se torna mas estricto al incrementarse la velocidad de transmisión.

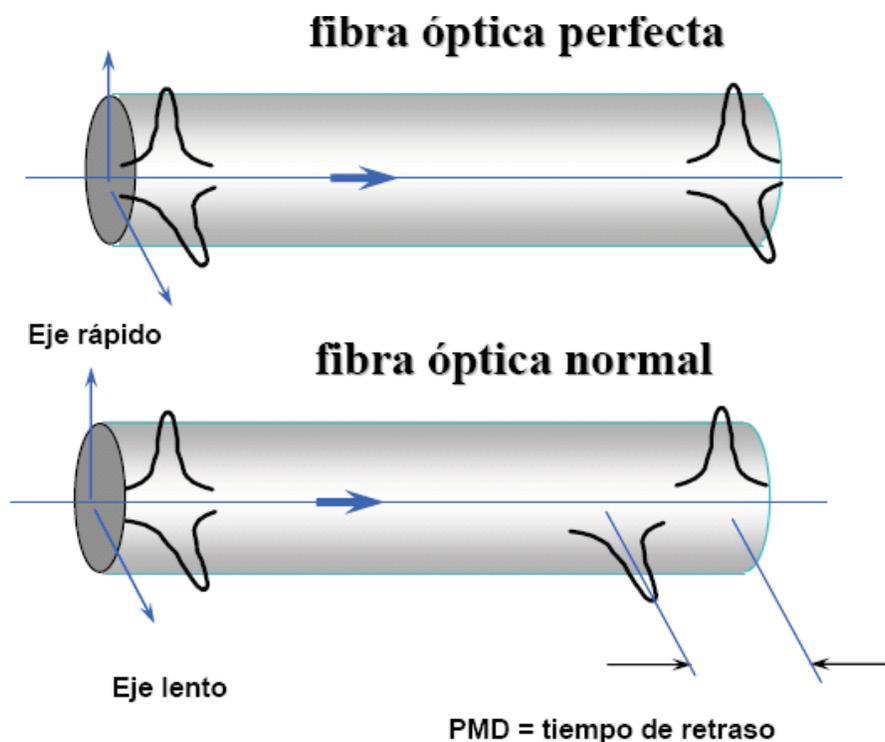


Figura 1-10.- Retraso del PMD.

1.8 CAUSAS DE LA PMD.

Las principales causas que provocan PMD las podemos ver como intrínsecas y extrínsecas.

Dentro de las causas intrínsecas tenemos la geometría de la fibra debido al proceso de fabricación, ya que en este no se alcanza necesariamente una circunferencia perfecta. De igual manera el esfuerzo al que se ve sometida la fibra por el proceso de fabricación del cable óptico, ya que dicho cable llevará en su interior un cierto número de fibras ópticas.

Con respecto a las causas extrínsecas, se tiene las deformaciones del núcleo debido al propio tendido de la fibra óptica, es decir, flexiones, torsiones y esfuerzos. Además la variación de temperatura representa un factor extrínseco a considerar.

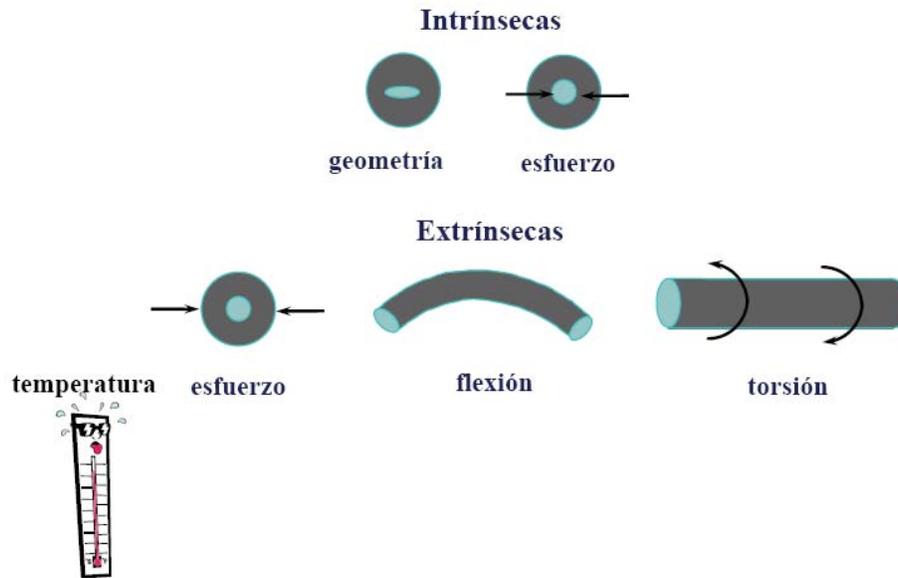


Figura 1-11.- Causas intrínsecas y extrínsecas del PMD.

1.9 DISPERSIÓN CROMÁTICA.

La dispersión cromática limita la transmisión de señales ópticas debido al ensanchamiento del pulso de luz.

Esta dispersión es el principal parámetro del cable de fibra óptica para sistemas de alta capacidad amplificados ópticamente.

Condiciones de Dispersión Cromática óptimas:

- Pequeña pero fibra óptica con dispersión no-cero: NZDF.
- Dispersión Cromática de trayectoria neta cerca de cero: Compensación de Dispersión Cromática.

- Pendiente de Dispersión Cromática baja: Dispersión Cromática óptima a lo largo de un rango de longitudes de onda amplia (para soportar muchos canales o sea longitudes de onda).

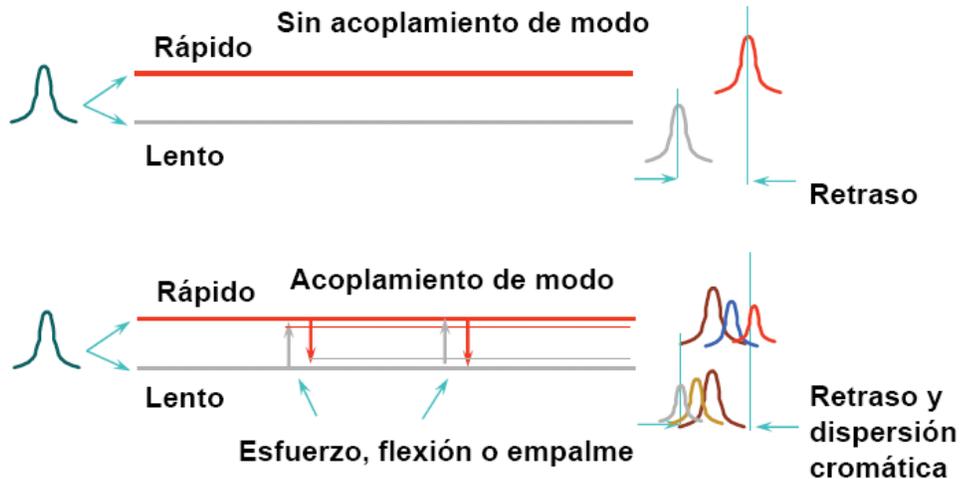


Figura 1-12.- Retraso y dispersión cromática.

1.10 NO LINEALIDADES.

Como se presenta en muchos otros dispositivos y sistemas, están las no linealidades que generan distorsión y degeneración de la señal. Las no linealidades de esparcimiento estimulado se pueden aprovechar en filtros y cavidades, más adelante se verán los diversos filtros y cavidades que se pueden utilizar.

Esparcimiento estimulado de Brillouin (SBS) -las ondas de sonido dispersan la luz principalmente de regreso a la fuente. La luz incidente crea regiones periódicas de alto índice de refracción —una rejilla periódica— que viaja a la velocidad del sonido alejándose de la fuente de luz.

La rejilla refleja algo de la luz incidente. la luz dispersa hacia atrás se amplifica debido a que la rejilla se mueve en la dirección opuesta que la luz reflejada, la luz reflejada se modifica mediante el efecto Doppler a una frecuencia menor (longitud de onda más larga)

Esparcimiento estimulado de Raman (SRS) -las vibraciones moleculares dispersan la luz principalmente en la dirección hacia delante.

Las no linealidades por fluctuaciones en el índice de refracción son las que analizaremos con mayor detenimiento en capítulos posteriores.

1.11 VENTANAS DE OPERACIÓN.

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas.

La primer ventana de operación corresponde a la longitud de onda de 800nm y es comparable con la ventana atmosférica para transmisión óptica a 900nm. Las fibras ópticas hechas para operar en esta ventana son conocidas como la primera generación.

La ventana de 800nm estaba limitada a distancias de transmisión cortas y altas potencias de transmisión, esto dio origen a las ventanas de operación segunda y tercera alrededor de 1300nm y 1500nm respectivamente. La atenuación de la fibra óptica en estas ventanas se vio reducida considerablemente, las fibras fabricadas para dichas ventaneas se les conoce como la segunda generación.

Debido al desarrollo de Amplificadores ópticos como son los EDFAs (Erbium Doped Fiber Amplifier) y su tendencia de operar en la banda de 1530nm a 1565nm, dicho banda de operación se le llamó la cuarta ventana.

Una nueva generación de fibra óptica se ha desarrollado, la cual elimina el conocido como “pico de agua” localizado a 1400nm en la curva de atenuación. Esta nueva generación de fibra óptica permite que el espectro de 1200nm a 1600nm sea utilizable.

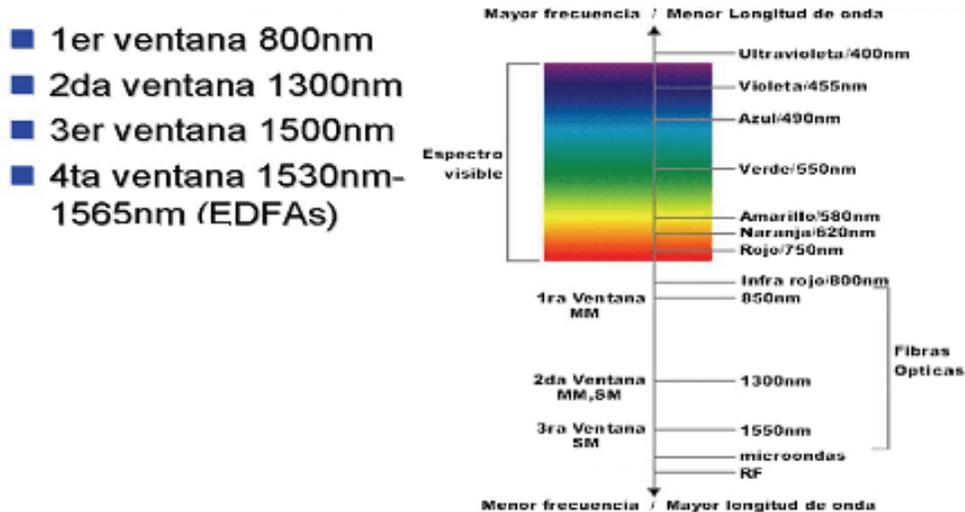


Figura 1-13 Ventanas de operación.

1.12 TIPOS DE FIBRA OPTICA.

La FO se puede dividir en dos categorías, la fibra multi-modo y la fibra mono-modo.

La fibra multi-modo fue usada para ser usada con la primer generación de equipamiento, es mas barata de fabricar, tiene alta atenuación, su diámetro es de 100um. En la actualidad es mayormente utilizada para distancias cortas (como en los cables de parcheo).

La fibra mono-modo fue diseñada para la segunda generación de equipos, es mas cara de fabricar, tiene la capacidad de usar un mayor ancho de banda y su diámetro es de 0.8 a 1.6 μm .

Existen tres tipos de fibra mono-modo: estándar sin desplazamiento de dispersión (Standard Dispersion-Un-Shifted), con desplazamiento de dispersión (Dispersion Shifted) y con desplazamiento de dispersión no cero (Non zero Dispersion Shifted).

1.12.1. MULTIMODO.

Este tipo de fibra fue el primero en fabricarse y comercializarse. Su nombre proviene del hecho de que transporta múltiples modos de forma simultánea, ya que este tipo de fibra se caracteriza por tener un diámetro del núcleo mucho mayor que las fibras monomodo.

El número de modos que se propagan por una fibra óptica depende de su apertura numérica o cono de aceptación de rayos de luz a la entrada. El mayor diámetro del núcleo facilita el acoplamiento de la fibra, pero su principal inconveniente es que tiene un ancho de banda reducido como consecuencia de la dispersión modal. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos de estas fibras son 50/125 y 62.5/125 mm.

Existen dos tipos de fibra óptica multimodo: de salto de índice y de índice gradual. En el primer caso, existe una discontinuidad de índices de refracción entre el núcleo ($n_1 = \text{cte}$) y la cubierta o revestimiento de la fibra ($n_2 = \text{cte}$).

Por el contrario, en el segundo caso la variación del índice es gradual. Esto permite que en las fibras multimodo de índice gradual los rayos de luz viajen a distinta velocidad, de tal modo que aquellos que recorran mayor distancia se propaguen más rápido, reduciéndose la dispersión temporal a la salida de la fibra.

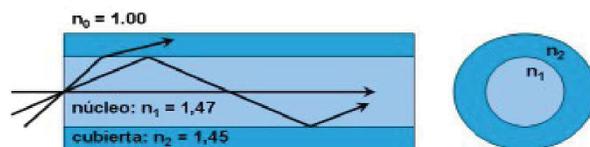


Figura 1-14.- Fibra óptica multimodo.

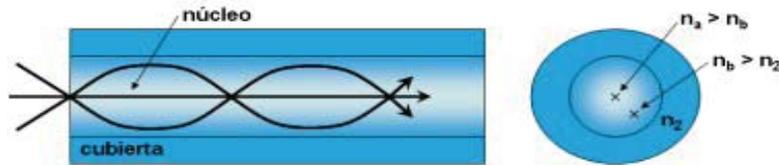


Figura 1-15.- Fibra óptica multimodo de salto de índice.

1.12.2. MONOMODO.

Las fibras ópticas monomodo tienen un diámetro del núcleo mucho menor, lo que permite que se transmita un único modo y se evite la dispersión multimodal. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos para estas fibras son de 9/125 μm . Al igual que las fibras multimodo, las primeras fibras monomodo eran de salto de índice, si bien en la actualidad existen diseños bastante más complejos del perfil de índice de refracción que permiten configurar múltiples propiedades de la fibra. Las fibras monomodo también se caracterizan por una menor atenuación que las fibras multimodo, aunque como desventaja resulta más complicado el acoplamiento de la luz y las tolerancias de los conectores y empalmes son más estrictas. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias y transmitir elevadas tasas de bit, las cuales vienen limitadas principalmente por la dispersión cromática y los efectos no lineales.

1.12.3. MONOMODO ESTANDAR.

La fibra estándar sin desplazamiento de dispersión, introducida en 1983 tiene una dispersión cromática baja en la ventana de 1300nm y una alta dispersión cromática en la ventana de 1500nm lo que representa un obstáculo para largas distancias.

Esta fibra se caracteriza por una atenuación en torno a los 0,2 dB/km y una dispersión cromática de unos 16 ps/km-nm en tercera ventana (1550 nm). La longitud de onda de dispersión nula se sitúa en torno a los 1310 nm (segunda ventana) donde su atenuación aumenta ligeramente.

Algunos ejemplos de este tipo de fibra serían: SMF-28 (Corning) y AllWave (Lucent). En el segundo caso, además, la fibra se caracteriza por eliminar el pico de absorción de OH, por lo que dispone de una mayor anchura espectral para la transmisión en sistemas multicanal CWDM.

1.12.4. FIBRA OPTICA DE DISPERSION DESPLAZADA.

La fibra con desplazamiento de dispersión fue introducida en 1985 y se logra una dispersión cromática mínima en ambas ventanas 1300nm y 1500nm. A pesar de que esta fibra es muy atractiva para sistemas de un solo canal, tiene impedimentos para transmitir múltiples longitudes de onda en la banda de los amplificadores de erbio (EDFA), este tipo de fibra solamente permite la cuidadosa transmisión de longitudes de onda seleccionadas.

Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a la tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0,25 dB/km a 1550 nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar.

1.12.5. FIBRA OPTICA DE DISPERSION DESPLAZADA NO NULA.

Para resolver los problemas de no linealidades de la fibra de dispersión desplazada surgieron este tipo de fibras, que se caracterizan por valores de dispersión cromática reducidos pero no nulos. En el mercado se pueden encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-), con el fin de ser utilizadas en sistemas de gestión de dispersión.

La fibra con desplazamiento de dispersión no cero se introdujo en 1995, esta fibra tiene una pequeña dispersión cromática en la banda de 1530nm a 1565nm. Teniendo una mínima dispersión que garantiza tanto la transmisión de varias longitudes de onda y alcanzar grandes distancias antes de requerir regeneradores.

Algunos ejemplos de este tipo de fibras serían: LEAF (Corning), True-Wave (Lucent) y Teralight (Alcatel).

1.12.6. FIBRA OTICA DE CRISTAL FOTÓNICO.

Recientemente han surgido un nuevo tipo de fibras de sílice caracterizadas por una microestructura de agujeros de aire que se extiende a lo largo de la misma. Su inusual mecanismo de guiado, basado en el denominado guiado intrabanda, hace que presenten toda una serie de propiedades únicas que la diferencian de la fibra ordinaria.

Entre estas propiedades, destaca la posibilidad de construirlas con núcleos de tamaño muy pequeño para acrecentar los efectos no lineales, así como con bandas de propagación monomodo muy extensas. Además, la dispersión cromática de estas fibras puede ajustarse mediante el diseño adecuado de su geometría, o sea de su microestructura, pudiendo obtenerse valores inalcanzables con la tecnología de fibra óptica convencional.

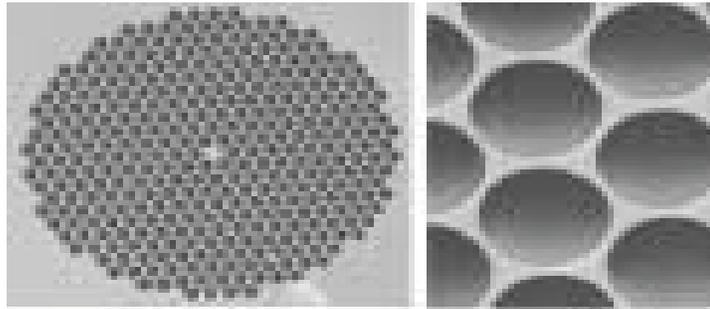


Figura 1-16 Constitución de la fibra óptica de cristal Fotónico.

1.12.7. FIBRA OPTICA DE PLASTICO.

Las fibras ópticas de plástico constituyen una solución de bajo costo para realizar conexiones ópticas en distancias cortas, como por ejemplo en el interior de dispositivos, automóviles, redes en el hogar, etc.

Se caracterizan por unas pérdidas de 0,15-0,2 dB/m a 650 nm (se suele emplear como transmisor un LED rojo) y por un ancho de banda reducido como consecuencia de su gran apertura numérica (diámetros del núcleo del orden de 1 mm).

Ofrecen como ventajas un manejo e instalación sencilla y una mayor robustez. Como ejemplo, las pérdidas que se producen son muy bajas con radios de curvatura de hasta 25 mm, lo que facilita su instalación en paredes y lugares estrechos. Además, avances recientes están propiciando mayores anchos de banda y distancia.

II. SISTEMAS PDH Y SDH.

2.1. SISTEMAS PDH.

Debido al desarrollo de la tecnología, la transmisión digital de señales es cada vez más utilizada en el campo de las telecomunicaciones.

Cuando un ruido se suma a una señal analógica, es difícil regenerar la señal original, los problemas de transmisión analógica de señales se incrementan con la longitud de la línea de transmisión. Los niveles de ruido se incrementan continuamente en proporción a la longitud de las líneas de transmisión.

Esto es diferente cuando se trata de señales digitales, especialmente una señal digital de dos estados, que se tiene un número finito de niveles y fácilmente es posible regenerarla sin pérdidas de información u otros inconvenientes, tales como diafonía, distorsión etc.

La calidad de la transmisión digital es casi independiente de la longitud de las líneas de transmisión, por lo cual es posible regenerar la señal enviada sin ruido.

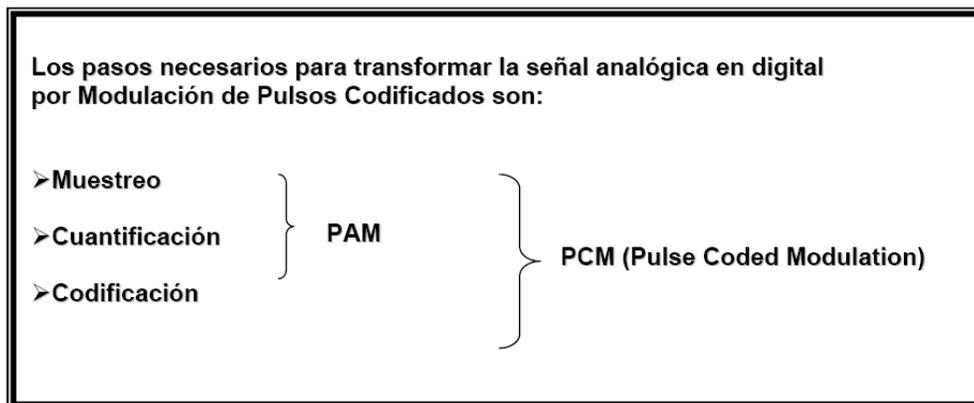


Figura 2-1 Modulación de Pulsos Codificados.

2.2. MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM).

La transformación de una señal analógica en digital por modulación de pulsos codificados se realiza mediante los siguientes pasos:

- Muestreo.
- Cuantización.
- Codificación.

2.2.1. Muestreo.

En los sistemas de transmisión de audio, por ejemplo, una frecuencia de audio es transportada en forma continua a lo largo de la portadora.

Sin embargo, surge la pregunta de si es realmente necesario el transmitir la señal completa o si la transmisión del valor de la señal en intervalos regulares pudiera ser suficiente.

Los científicos Nyquist y Shannon, examinaron el problema y concluyeron que muestras tomadas en intervalos regulares pueden ser usadas para transmitir una señal de audio.

2.2.1.1. Teorema de Nyquist.

“Una señal continua que no contenga señales mayores a ω Hz, está completamente determinada por muestras de la señal tomadas a intervalos $\frac{1}{2} \omega$ segundos. Este mismo teorema, expresado en términos de frecuencia, establece que la frecuencia de muestreo (f_s) debe ser mayor o igual al doble de la frecuencia máxima de la señal muestreada”.

$$f_s = 2f_{\text{máx}}$$

Para la voz humana se define: $A \cos(\omega t)$
 donde $\omega = 2\pi f$
 con $300\text{Hz} \leq f \leq 3400\text{Hz}$ aprox. 4KHz

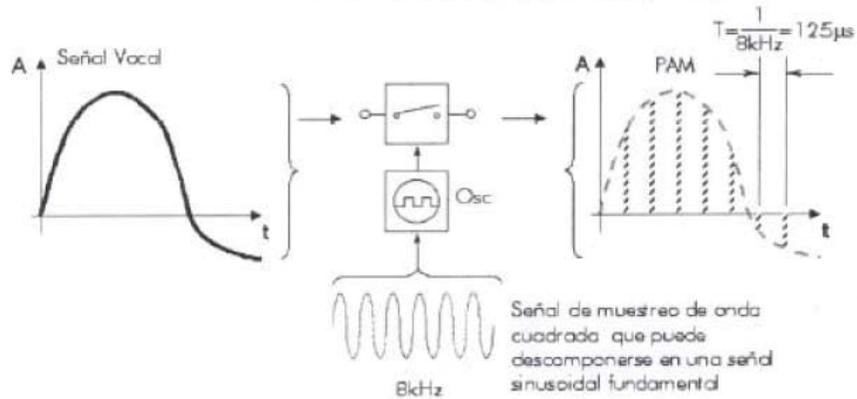


Figura 2-2 Muestreo Teorema de Nyquist.

Esto es: $f_s - 2 \omega$

Por lo tanto, para el ancho de banda de un canal telefónico de 300 a 3340 Hz con un margen de seguridad, se considera un ancho de banda $B = 4000$ Hz, será la frecuencia de muestreo:

$$f_s = 2 (4000 \text{ Hz}) = 8000 \text{ Hz} = 8 \text{ KHz}$$

2.2.1.2 Filtro Pasa Bajas.

Considerando una banda de frecuencia completa de 300 a 3400 Hz, es posible ver el problema de ocurrencia y derivar el criterio de muestreo Nyquist: El límite de no traslape para la frecuencia de muestreo f_s puede ser obtenido de:

$$f_s - f_{max} = f_{max} \text{ ó } f_s = 2$$

El Teorema de Nyquist, por lo tanto, especifica que existe una relación entre la frecuencia de muestreo (f_s) y la frecuencia máxima.

$$(f_{max}) \cdot f_s \geq f_{max}$$

Si: $f_s < f_{max}$ entonces una buena reconstrucción de la señal será imposible.

2.2.2. Cuantización.

La Cuantización representa la amplitud de una muestra por la amplitud del nivel discreto más cercano.

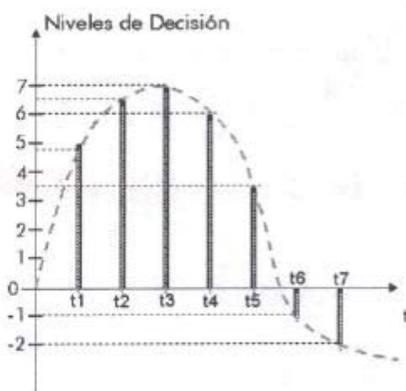


Figura 2-3 Cuantización.

Para poder usar la transmisión digital, cada valor de la muestra tendrá que ser representado por un código. Dado que el número de estos es limitado, los valores de la amplitud serán redondeados al valor más cercano, el cual puede representarse por un código. El número de niveles de Cuantización M está estrechamente relacionado con el número de bits n que son necesarios para decodificar una señal. Para fines prácticos se usan 8 bits para codificar cada muestra, por lo tanto:

$$\text{N}^\circ \text{ de niveles } M = 2^8 = 256 \text{ niveles de cuantización.}$$

Hay dos métodos principales para cuantización de una señal: Cuantización lineal y Cuantización no lineal.

2.2.2.1. Método de cuantización lineal.

El rango total de valores de voltaje que pueden ser manejados es subdividido en un número de subrangos de voltaje iguales. Cada subrango corresponde a una combinación de código. En ese momento la codificación de cualquier voltaje situado entre los límites bajo y alto de un subrango, es codificado con el mismo código. En el momento de decodificar, dicho código es representado por un voltaje correspondiente a la mitad del subrango (nivel de cuantización o quantum). El resultado es que cierta cantidad de ruido es adicionada a la señal original, esto es llamado ruido de cuantización. El ruido de cuantización es de hecho, la diferencia entre la señal codificada cuantificada y la señal original. Este ruido, en caso de cuantización lineal, tiene un cierto nivel, dependiendo de los subrangos. Como un resultado de esto, se tiene el mismo ruido insertado tanto para pequeños valores como para altos valores de entrada. Esto significa que el ruido insertado para señales de valores pequeños tendrá relativamente mucho más importancia que el ruido insertado a las señales de valores altos. Esto implica que la razón señal a ruido (SNR) será peor para las señales pequeñas.

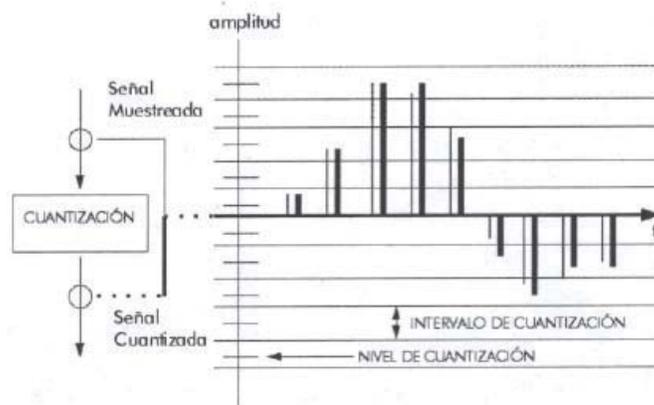


Figura 2-4 Cuantización Lineal.

2.2.2.2. Método de Cuantización No Lineal.

Como la cuantización lineal de señales resulta con una mala relación “señal a ruido”, otra clase de cuantización ha sido encontrada para obtener una razón “señal a ruido”, de un valor constante para cualquier nivel de señal. Los niveles de cuantización tienen que ser seleccionados de un modo logarítmico. Esto significa que se usará una cuantización no lineal. Es claro que niveles de ruido altos, pueden ser permitidos para señales muestreadas con un nivel alto pero no para señales con nivel pequeño.

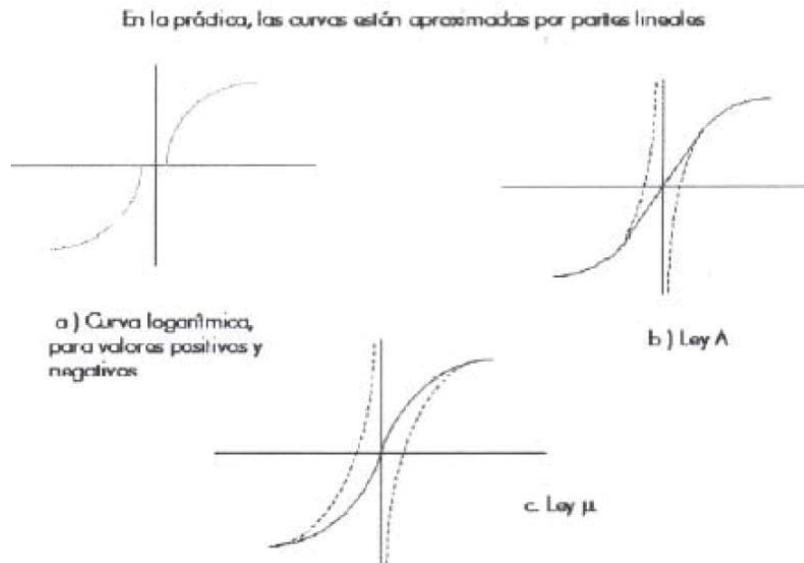


Figura 2-5 Cuantización No Lineal.

2.2.2.3. Leyes de Compansión.

Las curvas logarítmicas, tienen la desventaja de que no pasan a través del origen.

Hay dos leyes para resolver este problema: 1°. Curva de la ley "A"; estandarizado por CEPT y UIT-T, usado en Europa, mostrada en la figura 2-5 inciso b), también conocida como de 13 Segmentos. Se utiliza la línea tangente a la curva desde el origen hasta los puntos de tangencia.

2. Curva de la ley "μ"; sistema estandarizado por la North American Bell y UIT-T, obtiene una curva a través del origen al desplazar toda la curva al origen, esta curva es representada en la figura 2-5 inciso c).

▼ Comparación entre el código natural y simétrico

<u>Valor cuantizado</u>	Código natural (ley μ)	Código simétrico (ley A)
Valor más positivo	11111111	11111111
Cero	10000000 -----	10000000
	01111111	00000000
Valor más negativo	00000000	01111111

Figura 2-6 Código Natural y Simétrico.

2.2.3. Codificación.

Después de ser cuantizada, la muestra de entrada, está limitada a 256 valores discretos. La mitad de estas son muestras codificadas positivas, la otra mitad son muestras codificadas negativas. Hay 256 niveles, así que son necesarios 8 bits para codificar todos los niveles. Cada combinación de 8 bits corresponde a un nivel. Para seleccionar cual combinación correspondería con cual nivel, existen diferentes posibilidades. Existen muchos códigos diferentes, pero los más usados son; Código Natural y Código Simétrico.

2.2.3.1. Código Natural.

Usando el código natural, se tiene que el nivel de señal más bajo (valor más negativo) corresponderá al código con el peso menor (00000000). De acuerdo al nivel de señal más alto (nivel más positivo) corresponderá al código con peso más alto (11111111).

2.2.3.2 Código Simétrico.

En cada código, los 8 bits están divididos en 2 partes: 1 bit de signo y 7 bits de magnitud. El primer bit (bit de signo) corresponde al signo de la señal.

Cuando el bit de signo es 1, se tiene un valor positivo, cuando el bit de signo es 0, se tiene un valor negativo. Un cierto valor positivo o negativo resultará en un código de 7 bits. La distinción entre ambas señales es hecha por medio del bit de signo. Este código es el normalmente usado. En la figura 2-7 se observa que la ley A la cual es dividida en 13 segmentos, en la mitad inferior caen las muestras con polaridad negativa y en la mitad superior, las positivas. Cada segmento contiene 16 niveles, excepto el nivel 7 que tiene 64 niveles (realmente son cuatro niveles en uno). Sumando todos los niveles obtenemos 256 niveles de cuantificación, que son los empleados por esta ley.

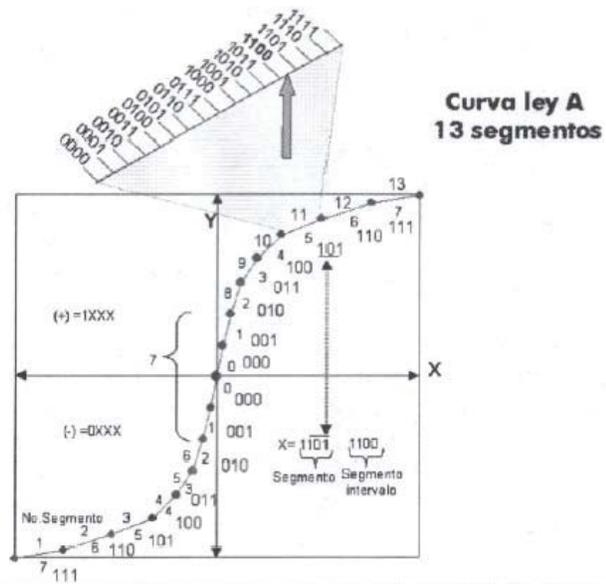


Figura 2-7 Curva ley A 13 Segmentos.

	Segmento	+/- Rango del Nivel (mV)	Tamaño del Escalón
Subsegmento 7	000	16	1
Subsegmento 7	001	32	1
6	010	64	2
5	011	128	4
4	100	256	8
3	101	512	16
2	110	1024	32
1	111	2048	64

Tabla 2-1 Tabla comparativa de Codificación.

2.3. CÓDIGOS DE LÍNEA.

2.3.1. Código NRZ.

El código no retorno a cero: En este código de transmisión, un “0” puede ser representado por una tensión negativa y un “1” por una tensión positiva. Sin embargo las características son:

- Grandes componentes de CD.
- El bit de reloj no está presente en la cadena de datos.
- Este código es extremadamente simple, no requiere Hardware adicional. Este normalmente será usado para distancias cortas de transmisión en un ambiente con un sistema de distribución de reloj separado, por ejemplo, en una central de conmutación.

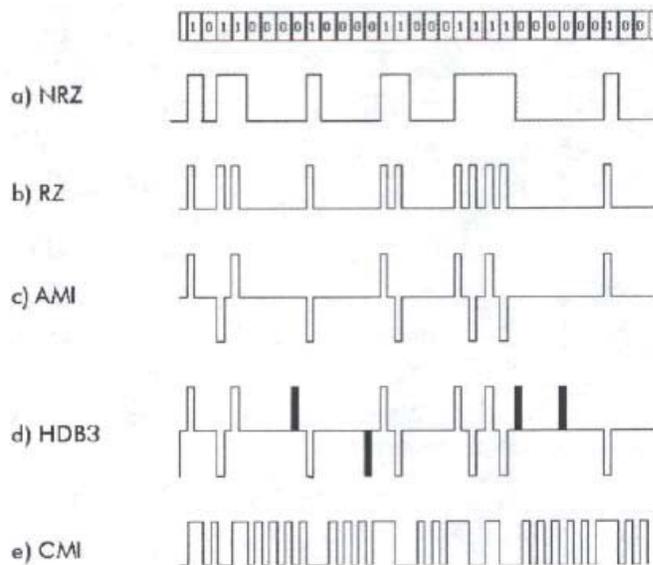


Figura 2-8 Códigos de Línea.

2.3.2. Código AMI.

Inversión de marcas alternas: Ya que el código NRZ no es conveniente para transmitir a largas distancias (alta componente de CD), se ha desarrollado el código AMI para su uso en la transmisión en largas distancias. El propósito de este código es reducir el continuo nivel de CD en la línea a 0 volts. En este código un "0" será representado por 0 volts y un "1" por un potencial alternado positivo o negativo. Al invertir la dirección de marcas consecutivas, el promedio de componente de CD en la línea, cae a 0 volts. Como resultado, este código es conveniente para transmisión a larga distancia. Sin embargo un problema no está aun resuelto: este código no transmite el sistema de reloj. El receptor debe reconocer y seleccionar la tasa de reloj de entrada explorando por transiciones en cadena de bits de entrada. Si se tiene una serie de bits que son iguales a "0", el receptor ya no puede reconocer la razón de reloj, porque se tiene un nivel continuo de CD (0 Volts) en la línea. Para resolver este problema, se ha desarrollado otro código, llamado de Alta densidad Bipolar Exceso 3 (HDB3).

2.3.3. Código HDB3.

Alta Densidad Bipolar Exceso 3: Este código inserta pulsos de violación cuando llegan sucesivamente más de 3 ceros. El lado transmisor inserta los pulsos de violación, los cuales pueden ser detectados por el receptor. El lado receptor eliminará estos pulsos de violación. Los pulsos de violación son insertados dependiendo del número de pulsos que han pasado y dependiendo del signo del último pulso de información (después de la inserción). El número de pulsos puede ser par o impar. El signo del último pulso de información puede ser positivo o negativo. Los pulsos a insertar son:

		NUMERO DE PULSOS	
		IMPAR	PAR
ULTIMO PULSO	POSITIVO	---	N__N
	NEGATIVO	---N	P__

Figura 2-9 Pulsos a Insertar.

2.3.4. Código CMI.

Debemos recordar que el código de línea HDB-3, se emplea en las jerarquías de 1ª, 2ª y 3ª orden de los sistemas PDH. Y para el 4ª Orden de PDH, es decir, 139.264 Mbps, se emplea el código CMI (Inversión de Marcas Codificadas), en donde los “1” son los que se siguen alternando y duran un ciclo de reloj, mientras que los “0” duran la mitad del reloj.

2.4. ELEMENTOS DE MULTICANALIZACIÓN.

Un sistema TDM (Multiplexación por División de Tiempo), es un sistema de transmisión multicanalización, en el cual un número de comunicaciones están multiplexadas en una portadora o medio físico al asignar a cada comunicación un espacio específico de tiempo. En el espacio de tiempo asignado, se transmite el “valor momentáneo” (fotografía) de la señal. Para usar un sistema TDM, cada señal analógica debe prepararse, convirtiendo la señal continua en muestras, generadas a intervalos regulares. Se usará un modulador para generar las muestras. En el lado de recepción de la portadora, la cadena de bits debe ser demultiplexada.

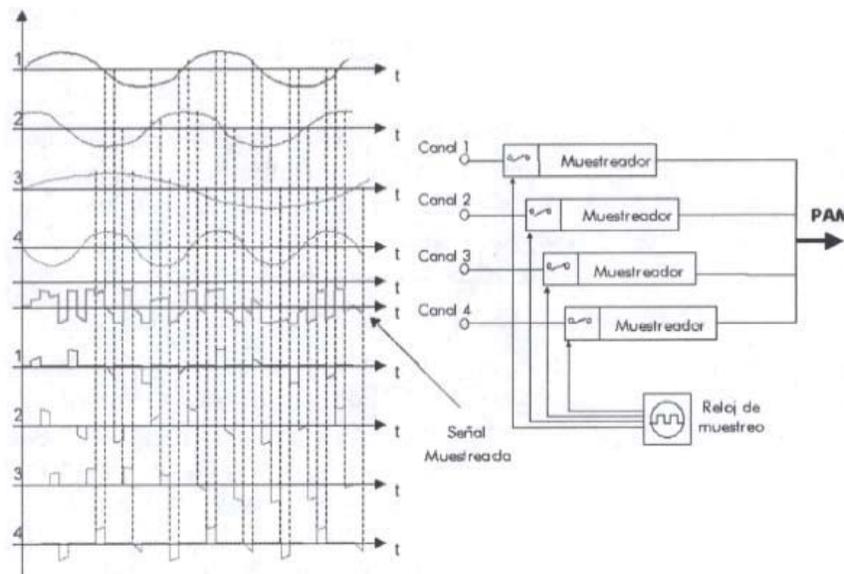


Figura 2-10 Multicanalización por División de Tiempo.

Esto generará una Trama (Frame) que es un conjunto de pulsos, bits o dígitos binarios que se originan tras un ciclo completo de muestreo y codificación de n canales telefónicos, el cual se denominará una Trama PCM.

2.4.1. Estructura de la Trama de 32 Canales.

Usando un sistema TDM, un número de comunicaciones puede ser combinado en una portadora. Cada comunicación está representada por una serie de muestras, cada una de las cuales se representa en forma de un código digital. En Europa ha sido estandarizado y aceptado por la UIT-T un sistema TDM de 32 canales o Time Slots TS. Cada canal tiene 8 Bits. Esta estructura se llama Trama (Frame) y tiene 256 bits. Una llamada es asignada a un canal en una trama semejante. Esto significa que se pueden enviar 8 bits en cada trama. Como una señal de abonado es muestreada cada 125 μ seg. ($f_s = 8KHz$), la muestra de un usuario es realizada en 8 bits cada 125 μ seg. Por lo tanto la duración del TS es de:

$$125 \mu\text{seg.} / 32 = 3.906\mu\text{seg.}$$

La velocidad de transmisión (*bit rate*) de la cadena PCM es de 256 bits en 125 μ seg., lo cual corresponde a 2.048 Mbits/seg. En la estructura de la trama, la asignación de los canales es de la siguiente manera:

- TS 0: Sincronización de la trama (alineación).
- TS 16: Señalización.
- TS 1-15 y 17-31: Voz / Datos. De un total de 32 TS o canales, únicamente 30 pueden ser utilizados para señales de voz. Esta es la razón por la que esta estructura es algunas veces llamada estructura de la trama de 30 TS. Cada canal usado para señales de voz contiene 8 bits que muestreados a una frecuencia de 8KHz, se puede obtener que cada TS tiene una velocidad de 64Kbps, de los cuales el primero se usa como bit de signo y los otros siete son bits de magnitud codificados de acuerdo a la ley "A". En cada trama el mismo número de canal será dado al mismo abonado.

2.4.2. Estructura de la Trama de 24 canales.

La cadena de bits consiste de tramas que contienen 193 bits, donde 1 bit es usado para alineación y 192 son usados por los 24 canales de 8 bits cada uno. Una llamada puede ser asignada a un cierto número de canal. Así que cada abonado podrá enviar 8 bits en cada trama, esto es cada 125 μ seg. Esto significa que la duración máxima de una trama (193 bits) es de 125 μ seg. La razón o velocidad de transmisión (bit rate) de una trama es de 193 bits en 125 μ seg. ó 1.544 Mbits/seg. La duración de 1 bit es de 125 μ seg./193= 648 nseg. La duración de 1 canal es de $8 * 648$ nseg = 5.18 μ seg. Los 24 canales son usados en la misma forma. Todos son usados tanto para voz como para señalización. La alineación es hecha por 1 bit que es asociado a estos 24 canales. Cada canal tiene 8 bits de los cuales el primero es un bit de signo y los otros 7 son bits de magnitud, codificados de acuerdo a la ley “ μ ” (estandarizado por el sistema Bell de North American y el UIT-T). Cuando un número de canal es dado aun abonado, este abonado puede enviar 8 bits en cada trama, siempre usando el mismo canal. Esta es la razón por la que se tienen 8000 tramas por segundo.

2.4.3. Objetivo de TDM.

El objetivo de TDM es multiplexar n canales PCM, según el estándar que se escoja, para lograr lo que se denomina un PCM de 1er Orden (E1 ó T1), para esto se genera un conjunto de 16 Tramas PCM numeradas de 0 a la 15, que es el ciclo completo de TDM en donde además de la información de las muestras de voz, se inserta información de alarmas, señalización y palabras de alineamiento tanto de trama como lo que se denominará Multitrama.

2.5. TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE PDH.

2.5.1. Antecedentes Históricos.

En los comienzos de los años 60 expertos en transmisión estuvieron trabajando en el PCM para resolver el problema de la presencia en demasía de hilos de cobre en las calles y la ausencia del espacio para instalar nuevas líneas. Se encontró que con una cadena digital se podía transmitir muchas señales de voz con mejor calidad que las analógicas. En 1968 Europa desarrolló su estándar con 30 canales de voz más un canal de alineamiento de trama y un canal de señalización, con un total de $32 \times 64 \text{Kbps} = 2.048 \text{ Mbps}$, esto conforma la señal con el formato E1 para el estándar Europeo y en E.U.A $24 \times 64 \text{ Kbps} = 1.544 \text{ Mbps}$ ó T1.

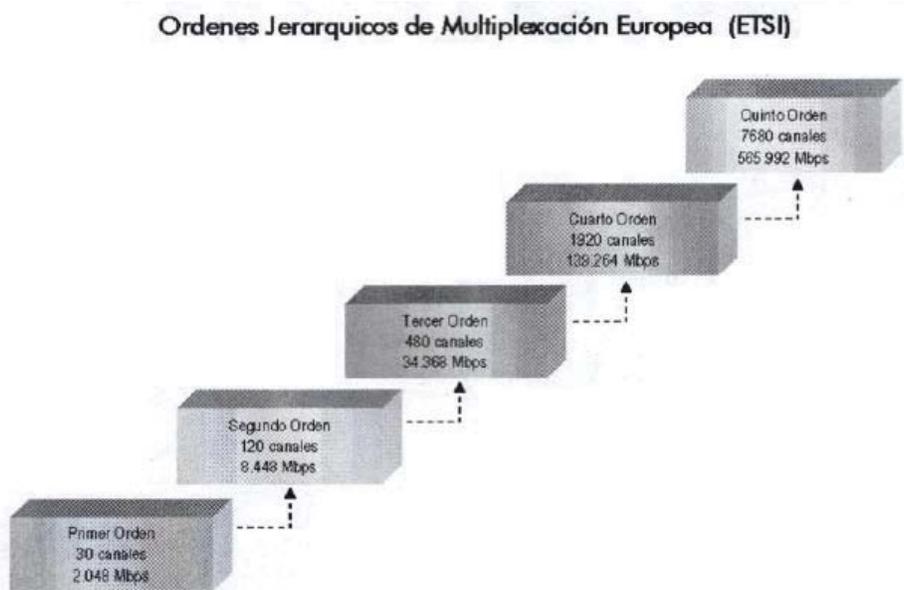


Figura 2-11 Ordenes Jerárquicos de Multiplexación Europea.

Con la llegada del Multiplexaje se crearon sistemas donde se tomaban cierto número de señales T1 o E1 y todas se juntaban en una sola. Este proceso genera una sola cadena tributarios y poniéndose en una cadena de más alto orden y estos órdenes se les llamó Jerarquías de Multiplexación. Los niveles jerárquicos de velocidades PDH que se utilizan en México son:

Velocidades de Jerarquía PDH (Europea)		
Orden	Velocidad binaria	Capacidad de canales
Primer orden	2048 Mbps	30
Segundo orden	8,448 Mbps	120
Tercer orden	34,368 Mbps	480
Cuarto orden	139,264 Mbps	1920
Quinto orden	564,992 Mbps	7680

Tabla 2-2 Velocidades de Jerarquía PDH en México.

Así, en cada paso, el multiplexor debe tomar en cuenta el hecho de que las velocidades a las que llegan en cada tributaria son distintas, por ello se utiliza el método PDH. A esto se debe el nombre de PDH “*Jerarquía Digital Pelsio (casi) crona (sincronía)*”.

2.5.2. Desventajas de PDH.

Dentro de una Trama Plesiócrona no es posible separar debajo de la tributaria inferior inmediata según como este multiplexada.

Es decir, con PDH no se puede disgregar o separa una señal de 1er orden de una señal entrante de 4º Orden, por lo que tendría que estar bajándose al nivel inmediato hasta obtener la señal de orden deseado. Por lo que existen problemas con la Plesiócronía tales como:

- Incompatible con las jerarquías existentes en el mundo, es decir, que para Multiplexar y Demultiplexar un nivel jerárquico es necesario demultiplexarlos por nivel.

- Se carece de apuntadores por lo que no se puede averiguar dónde se encuentra nuestra señal de interés.
- Altos costos debidos a la conversión de los niveles jerárquicos.
- No existe una relación reservada de bit para el monitoreo de los sistemas de transmisión.

2.5.3. Ventajas de PDH.

- Equipo relativamente barato pues no requiere inteligencia para el procesamiento de señales.
- Planta instalada muy grande, en uso y aún creciendo.
- Fácil de instalar y adaptable a la planta de cobre externa existente.

2.5.4. Sistema PCM de 30 Canales 1er Orden.

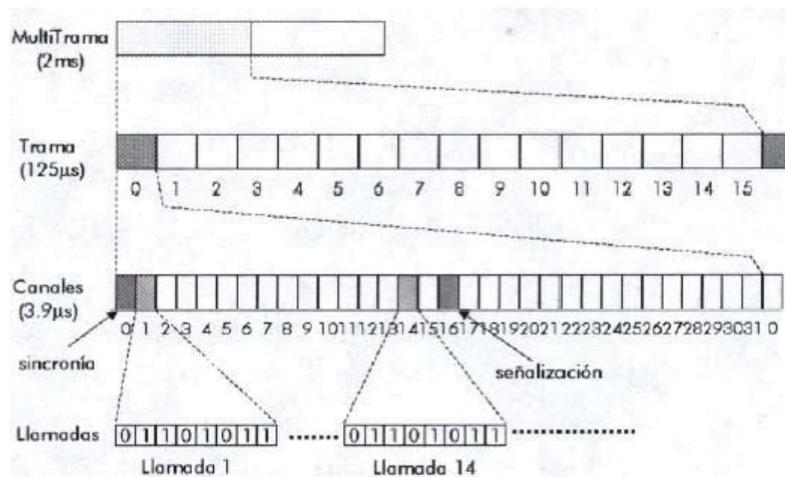


Figura 2-12 Trama de una señal E1 de 2.048 Mbps.

Las características básicas de un PCM de primer orden están dadas por los siguientes parámetros:

- Frecuencia de muestreo es de 8 KHz.
- Duración del espacio de tiempo TS es 3.9 μ s.
- Anchura del bit de 0.488 μ s.
- Velocidad de transferencia binaria de 2.048 Mbps.
- Período de la trama de 125 μ s.
- Número de bit por palabra es 8 bit.
- Número de tramas por multitrama de 16.
- Período de multitrama de 2ms.
- Señal de alineamiento de trama en tramas pares.
- Señal de alineamiento de multitrama en TS16.
- Palabra de alineamiento de trama fija a 100110011.
- Palabra de alineamiento de multitrama es 00001011.

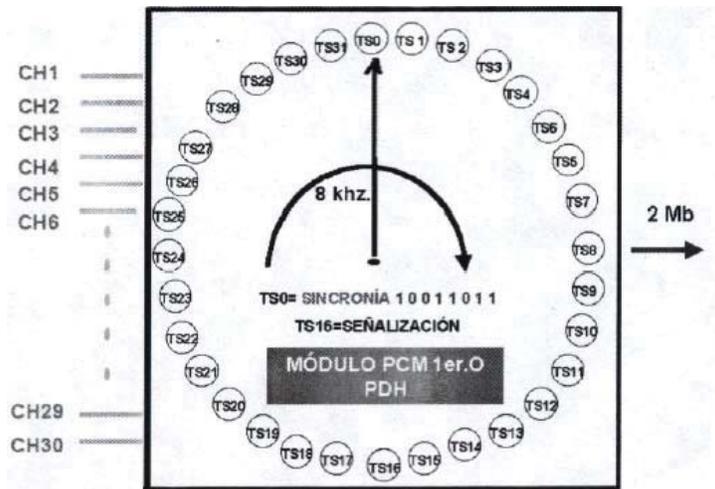


Figura 2-13 Conmutación PCM.

Cada señal de entrada obtiene tributarias que le permiten un cierto rango de velocidades. El Multiplexor lee cada tributaria a la velocidad de reloj más alta permitida, cuando no hay bits en el buffer de entrada (debido a que los bits están llegando a una velocidad de reloj menor), este añade un bit de relleno (“*stuffing*”) para completar la señal hasta la velocidad más alta. Esto conlleva un mecanismo que indica al Demultiplexor que se han usado bits de relleno y los cuales debe descartar. Este método se denomina *Justificación* y es la base de todos los sistemas de transmisión digital actuales. En el Multiplexaje Plesiócrono en cada nivel se insertan:

- La palabra de inserción para alineamiento de trama.
- La Adición de bits de justificación y relleno (*Stuffing*).
- La Adición de señales de servicio.

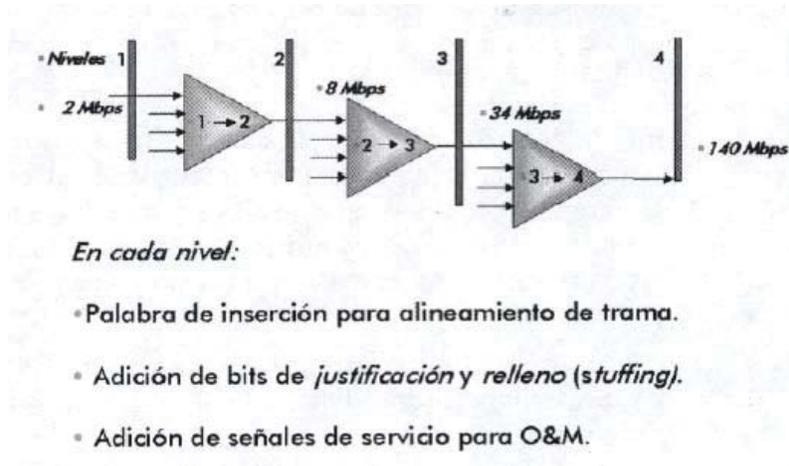


Figura 2-14 Multiplexaje Plesiócrono.

Demultiplexaje Plesiócrono en cada nivel se extraen:

- La Extracción de la señal de reloj.
- La Recuperación de la palabra de alineamiento de trama.
- La Recuperación de bits adicionales.

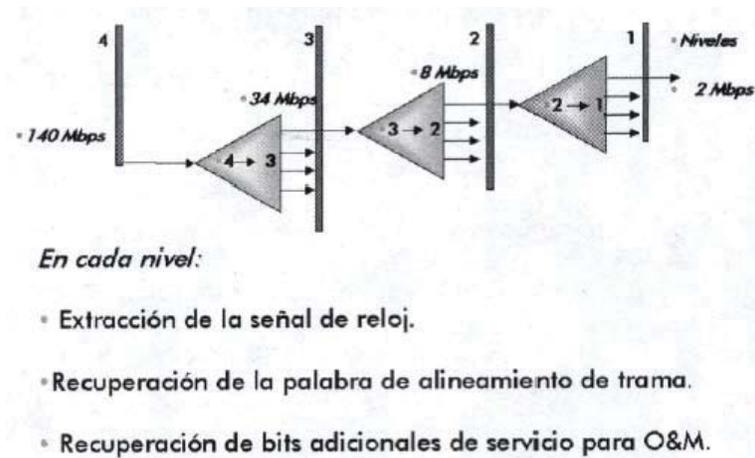


Figura 2-15 Demultiplexaje Plesiócrono.

2.5.5. Jerarquías de Multiplexación.

Existen tres normas de Multiplexación a partir de una señal de 64 Kbps. Estas son normadas por UIT-T en la recomendación G702.

- NORMA AMERICANA (ANSI).
- NORMA EUROPEA (ETSI).
- NORMA JAPONESA. Todas las jerarquías parten de una velocidad de canal de 64 Kbps sobre la que se estructuran los niveles jerárquicos en cualquier sistema. En la jerarquía de multiplexaje norma europea, en cada nivel jerárquico se agrupan respectivamente cuatro señales digitales de orden jerárquico inferior en un tren de pulsos de orden superior.

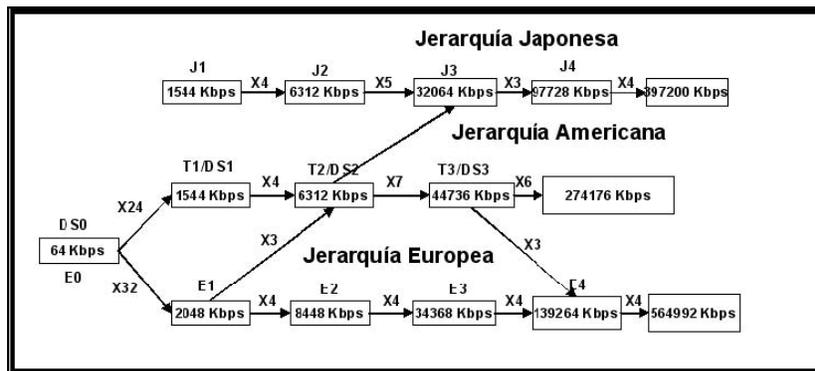


Figura 2-16 Jerarquías de Multiplexaje PDH.

Por ejemplo, para pasar de 1^{er} orden al 2^{do} se agrupan cuatro sistemas de 30 canales (llamados Tributarias) a 2.048 Mbps. Para pasar del 2^o al 3^o se agrupan 4 sistemas a 120 canales (tributarias a 8.448 Mbps) y para pasar del 3^o al 4^o se agrupan 4 sistemas a 480 canales (Tributarios a 34.368 Mbps).

2.5.6. Equipos y aplicaciones.

Dentro de una red de transmisión se tienen tres aplicaciones principalmente:

- La red de transporte de larga distancia: esta red se encarga de conectar un cliente con otro cliente de diferentes ciudades o países.
- La red de transporte local: es la red que conecta un cliente con otro cliente dentro de la misma ciudad o localidad.
- La red de acceso a usuarios: es la red que se tienen entre la central y el cliente.
- Dentro de las redes telefónicas comúnmente se tienen una gran variedad de equipos PDH de diversos proveedores y varios tipos y versiones dentro del mismo Proveedor, en la figura 2.40 se muestran algunos de estos:

PROVEEDOR	FAMILIA DE EQUIPOS
Alcatel	Equipo PDH Mux 4ª Generación
	Equipo PDH tipo T-80
	Equipo PDH tipo T-90 1631FL
	Equipo PDH 1521FL
	Equipo PDH 1531FL
Ericsson	Equipo PDH tipo ByB
	Equipo PDH Serie7000
DSC	Equipo PDH CP600/800
	Equipo PDH CP3000/4000
NEC	Equipo PDH serie 5000
	Equipo PDH serie 6000
PHILLIPS	Equipo PDH tipo Slim Line
	Equipo PDH tipo PLE
AT&T	Equipo PDH AT&T565
Northern Telecom	Equipo PDH versión Modular
Siemens, Marconi, Martix, RAD, etc.	Equipos PDH versiones propietarias

Tabla 2-3 Equipos PDH de diferentes Marcas.

2.6. SISTEMAS SDH.

2.6.1. Antecedentes.

La Jerarquía Digital Síncrona (SDH) surge por la necesidad de evolucionar hacia un sistema de transmisión de mayor velocidad, más confiable y más fácil de administrar que su antecesor: la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH), características que serán analizadas primero:

- Sistema Plesiócrono, esto es, las señales tributarias entrantes pueden traer velocidades diferentes, pueden venir fuera de fase, por lo que se tendrán que agregar bit de justificación para sincronizarlas a todas y de esta manera comenzar la multiplexación TDM, también se tienen que agregar bits de sincronía en cada nivel de multiplexación para indicar el inicio de cada trama.
- En PDH no se tiene las facilidades de insertar o extraer canales. Si se desea hacer esto, por ejemplo el extraer una señal de 2 Mbps de un flujo de 140 Mbps se tendrían que insertar todos los multiplexores para bajar la señal del cuarto al primer orden y viceversa.
- La PDH fue diseñada básicamente para enlaces punto a punto y no está suficientemente adecuada para funcionar en la red.
- Falta de capacidad de monitoreo en la carga útil.
- Pocas facilidades de administración y supervisión de la red.
- Por su forma de multiplexaje no proporciona un sistema de conexión cruzada económica.
- A nivel medio de transmisión, no hay compatibilidad entre sistemas de diferentes fabricantes.
- PDH está orientada a servicios de voz.

2.6.2. Características de SDH.

En PDH se realizara una Multiplexación por División de Tiempo (TDM) y genera señales tributarias superiores a los 2 Mbps (PCM de Primer Orden) a partir de canales digitales de 64 Kbps, tanto en estándar Europeo (32 canales) como en estándar americano (24 canales) y sus correspondientes niveles jerárquicos. En la Jerarquía Digital Síncrona “SDH”, es síncrona, esto es, todos los elementos de la red utilizan como referencia solamente un reloj, existen varias fuentes para sincronizar equipos SDH, la más difundida es el uso de relojes atómicos (en general de Cesio), en la actualidad se busca sincronizar los equipos por medio de los GPS. Es compatible con los sistemas PDH (estándar Americano o Europeo) y transportarlos de manera transparente. Está normalizado en cuanto al medio de transmisión que permite mezclar cualquier tipo de equipo que cumpla con dicha norma. Está preparado para transportar señales PDH y señales de Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). Realiza una multiplexación más visible, ya que una señal SDH está compuesta de señales de más bajo nivel, es decir, velocidades más bajas enclavadas en otras de más alto orden como en los actuales sistemas PDH, las cuales sin embargo, pueden ser fácilmente identificables de los sistemas de más alto nivel por su configuración de encabezados. Esto hace posible el Agregar y el Extraer (Add / Drop) estas señales de bajo orden de una manera más fácil y rápida sin tener que pasar por todos los niveles de demultiplexación de del flujo de alto orden. Tiene canales de voz y datos para administrar la red dentro de la señal SDH y permite un control centralizado de todos los elementos de la red SDH para operación y el mantenimiento.

STM-0 51.820 Mbps.

STM-1 155.520 Mbps.

STM-4 622.080 Mbps.

STM-16 2,488.320 Mbps.

2.6.3. Velocidades de SDH.

En SDH también se cuenta con sistemas de alto orden de multiplexación denominadas STM (Synchronous Transport Module) que son tramas síncronas estandarizadas. En estas tramas se incrustan conjuntos de estructuras de datos jerárquicos identificados mediante encabezados específicos para cada orden. Serán transmitidos sobre enlaces ópticos esencialmente. Sus órdenes de multiplexación son como siguen:

- STM-0 51.820 Mbps.
- STM-1 155.520 Mbps.
- STM-4 622.080 Mbps.
- STM-16 2,488.320 Mbps.
- STM-64 9,953.280 Mbps.
- STM-256 39,813.120 Mbps

El **SDH** se deriva y es contra parte del estándar Americano SONET (Synchronous Optical Network) o Red Óptica Síncrona que es una jerarquía estandarizada de transmisión óptica propuesta por Bell Core y normalizada por ANSI.

Contenedor (C-n): Es la estructura que forma la carga útil de información. Es la caja negra o “recipiente” en el cual se colocan las señales de información de entrada. Cada una de ellas tendrá sus reglas de mapeo o adaptación de las distintas velocidades de mapeo o adaptación de las distintas velocidades de los flojos de entrada, mediante un proceso de “Justificación” para compensar las variaciones en frecuencia de dichas señales. El dígito n define el orden PDH de la señal de entrada, el orden 1 se divide en dos: el 11 para estándar Americano (1544 Kbps) y el 12 para el estándar Europeo (2048 Kbps).

Contenedor Virtual (VC-n): Estructura de información usada para establece conexiones entre los distintos niveles del trayecto. En el VC se agregan las facilidades (encabezado o Path Over Head = POH) para la supervisión y el mantenimiento de las trayectorias de punta a punta del contenedor o grupos de Unidades Tributarias (TU).

SONET		Mbit/s	SDH
STS-1	OC-1	51.84	
STS-3	OC-3	155.52	STM-1
STS-9	OC-9	466.56	
STS-12	OC-12	622.08	STM-4
STS-18	OC-18	933.12	
STS-36	OC-36	1,244.16	
STS-48	OC-48	2,488.32	STM-16
STS-192	OC-192	9,953.28	STM-64

Tabla 2-4 Compatibilidad SONET & SDH.

2.6.4. Estructura General.

Unidad Tributaria (TU-n): Aquí se agregan los apuntadores (PTR) a los contenedores virtuales, que permiten al sistema SDH el compensar las diferencias de fase o frecuencia dentro de la red y también localizar el inicio del contenedor virtual.

Grupo de Unidades Tributarias (TUG-n): Agrupa varias TU's que se multiplexan juntas para generar flujos de alto orden SDH.

Unidad Administrativa (AU-n): Su función es agregar apuntadores a los contenedores virtuales, en forma similar que con las unidades tributarias. Estructura que adapta información entre la trayectoria de alto orden y la sección multiplexora.

Grupo de Unidades Administrativas (AUG-n): Agrupa a varias AU's que van juntas para formar un sistema SDH de primer orden. En la multiplexación, de acuerdo con la estructura de ETSI, el AUG es idéntico a la única AU que se define.

Módulo de Transporte Síncrono (STM-n): Aquí se agregan las facilidades para la supervisión y el mantenimiento (Sección de encabezado SOH) de las secciones de multiplexor y de regeneradores a un número de grupos de AU's. El dígito n define el orden del STM y en la estructura de multiplexación, n también es el número de AUG's o STM-1 que son transportados en el módulo.

2.6.5. Multiplexación SDH.

Existen dos métodos de multiplexación para formar un STM-n (1, 4, 16, 64).

Uno es multiplexar 'n' STM-1's, multiplicando byte a byte.

El otro es multiplexar AU-4 y luego agregar un SOH especial para formar STM-n.

El primer método es el más usado y la forma de hacerlo se denomina entrelazado de bytes. Estos métodos lo aplican algunos proveedores y con ello definen sus líneas de productos para cada nivel jerárquico.

Encabezados de Trayecto En el sistema SDH se tienen *agregados* a la señal transportada que reciben el nombre de encabezados. Cada sección y trayectoria en un enlace de sistemas SDH lleva un encabezado que es utilizado para sus funciones de administración y de supervisión.

Estos se encuentran en cada:

- Sección de Regeneradores.
- Sección de Multiplexaje.
- Trayectoria de alto orden de Punta a Punta (HLP: High Level Path).

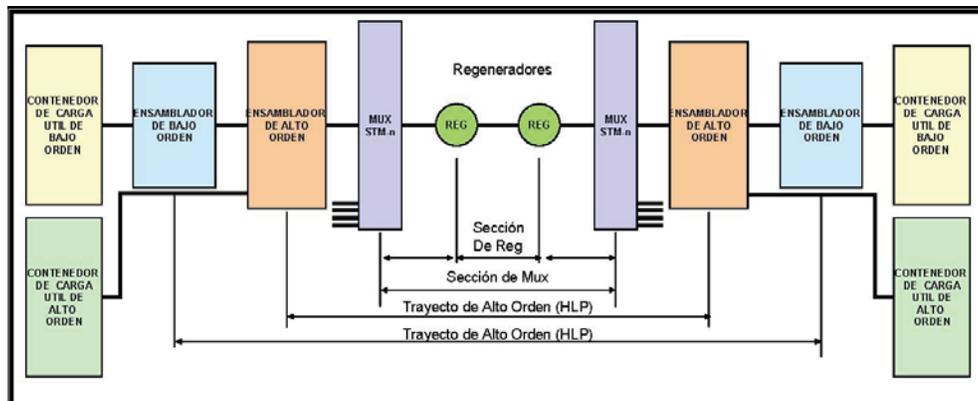


Figura 2-17 Secciones y Trayectorias.

- Trayectoria de bajo orden de punta a punta (LLP Low Level Path). Estos encabezados están contenidos en la Trama del STM-1, que es una trama de 9 Filas por 270 columnas y se denominan:
 - Encabezado de Sección de Regeneradores (ROS) de 3 filas por 9 Bytes.
 - Encabezado de Sección de Multiplexaje (MSOH) de 5 filas por 9 bytes.

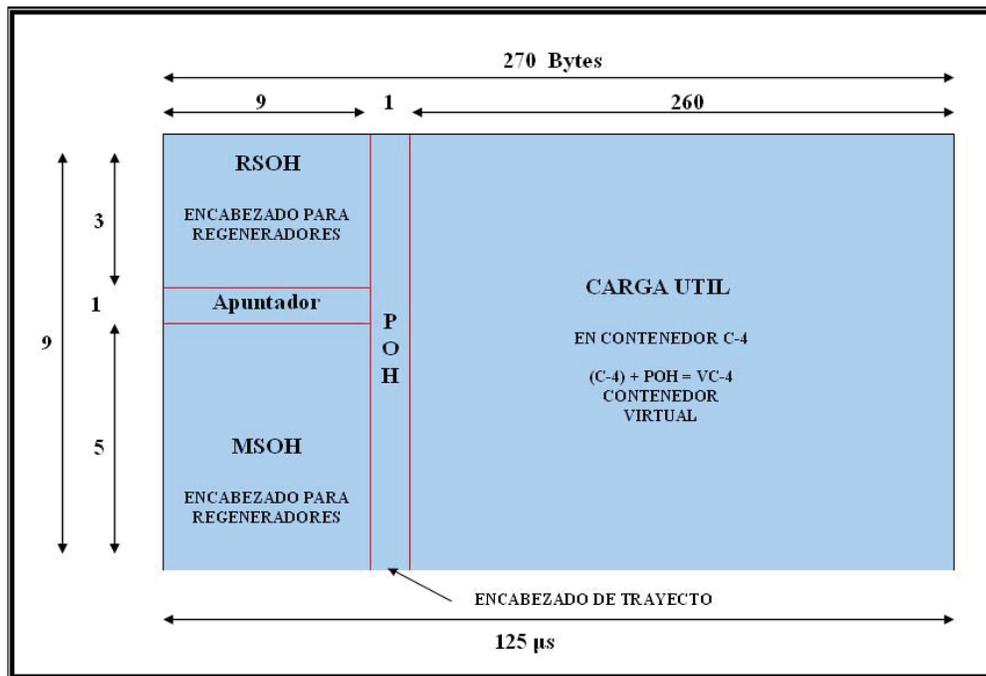


Figura 2-18 Módulo de Transporte Síncrono de 1^{er} Orden.

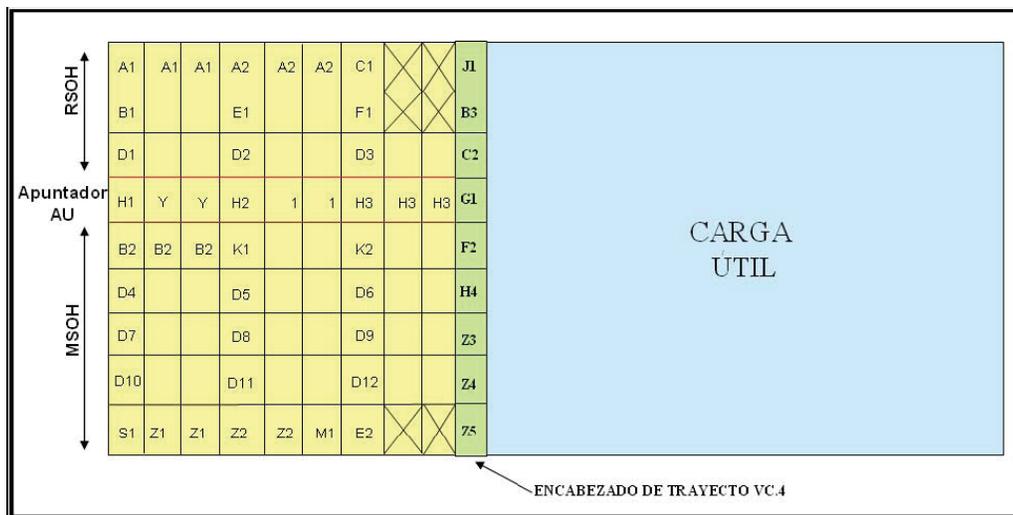


Figura 2-19 Estructura de Trama STM-1.

2.6.6. Estructura de trama STM-1.

En la *figura 2-18* se puede observar la estructura de la trama de una señal SDH de nivel 1, donde los primeros 9 Bytes en cada fila llevan información que el sistema utiliza para sí mismo. Sin embargo, parte de esta capacidad SDH la utiliza para encabezados adicionales. La secuencia de transmisión es una fila a la vez comenzando desde arriba y de izquierda a derecha y cada byte se transmite comenzando con su bit más Significativo (MSB). Módulo de Transporte Síncrono de Orden 1 (STM-1) se compone de las siguientes secciones:

Sección de Encabezados SOH la cual se divide en dos partes el encabezado de las sección de regeneradores ROSH (9 columnas x 3 filas = 27 bytes) y el encabezado de la sección multiplexora MSOH (9 columnas x 5 filas = 45 bytes).

La Sección de Apuntadores de 9x1=9 bytes en fila 4.

RSOH
A1 Palabra de alineamiento de trama = 11110110 =F6
A2 Palabra de alineamiento de trama = 00101000 =28
C1 Identificación de STM-1 dentro de una trama STM-n.
B1 BIP-8 Byte de chequeo de paridad.
E1 Canal de Servicio.
F1 Canal de usuario.
D1-D3 Canales de Comunicación de Datos a 192Kbit/s (DCC= Data Communication Channel) para la sección de Regeneración = DCC-R.

MSOH
B2 BIP 24. Son Bytes para el chequeo de paridad.
K1,K2 Bytes de señalización para criterios de conmutación.
K1: XXXX XXXX
K2: MS-AIS XXXX X111, MS-FERF XXXX X110
S1 Unicamente los bits 5, 6, 7 y 8 indican el status de la sincronía, los bits 1, 2, 3 y 4 aún no están asignados.
Z1 Bytes de reserva.
Z2 Bytes de reserva.
M1 Sección REI(FEBE) , indica el número de errores en el B2.
D4-D12 Canales de comunicación de Datos a 576 Kbit/s (DCC-M).
E2 Canal de servicio.

Tabla 2-5 Descripción de Encabezados ROSH y MSOH.

Sección de Encabezados de Trayecto POH la cual esta en la columna 10 y es de 9 bytes.

Sección de Carga Útil (Contenedor) la cual es de 260 columnas x 9 filas = 2340 bytes.

Esto es que el total de bytes que conforman a un módulo de Transporte Síncrono (STM-1) es de 270 columnas x 9 filas = 2430 bytes y que si son multiplicadas por 8 bit y después por 8000 Hz obtenemos la velocidad de transmisión de STM-1:

2430 bytes X 8 bit X 8000 muestras/s = 155.250 Mbps

Encabezado de Sección de Multiplex (MSOH) de 5 filas por 9 bytes para trayectoria de bajo orden de punta a punta (LLP: Low Level Path).

26.7. Encabezados de VC-4.

Los encabezados forman parte importante en las labores de supervisión y mantenimiento de los sistemas dependiendo del nivel en que se ubiquen nos proporcionarán la calidad de transmisión del enlace y de la red en función de señales de mantenimiento o alarmas que indican si hay problemas en la transmisión. Por su nivel los ubicamos en:

- Nivel de Sección de Regeneradores (ROSH y MSOH).
 - Nivel de Trayecto de Alto Orden (POH de VC-4).
-
- Nivel de Trayecto de Bajo Orden (V5 de VC-3, VC-12) Los encabezados también son importantes en la gestión de redes SDH, esto es por que utilizan la información y la analizan para determinar las características y parámetros de las señales de cada nivel la calidad operativa de las redes. Uno de los encabezados más importante es el de la trayectoria de Alto orden (POH) que relaciona a la carga útil del contenedor C-4 y está compuesto de 9 bytes que cumplen con una función de administración y de supervisión. Este encabezado está contenido en la Trama STM-1, que es una trama de 9 Filas por 270 columnas y se denominan:
 - Byte J1.- Es el identificador de la ruta del VC-n y es un canal de datos de 64 kbps permitiendo que el receptor reconozca que la señal viene de la misma fuente, es decir, verifica la conexión del VC-n.
 - Byte B3.- Realiza el cálculo de paridad intercalada de 8 Bits (BIP-8 Bit Interleaved Parity de 8 bits) y proporciona su resultado cargándolo en el B3 del siguiente VC-n
 - Byte C2.- Es el nombre de la señal que identifica el mapeo del VC-n y tiene diferentes valores en hexadecimal para cada tipo de mapeo, ejemplo:
00 No equipado, 12 140 Mbps a C-4 Assíncrono, 13 ATM, etc.
-
- Byte G1.- Usado para monitorear el estado del trayecto en la red del extremo remoto y enviado por 2 señales de alarma (FEBE) y (FERF).
 - FEBE: Error de Bloques del Extremo Remoto o Far End Block Error. Utiliza los primeros 4 bits para indicar errores de BIP-8.

- FERF: Falla en la Recepción del Extremo Remoto o Far End Receive Failure. Utiliza el bit 5 para indicar un problema severo en el extremo distante, (1) Alarma, (0) No alarma.
- Byte F2.- Canal de usuario para comunicación entre elementos de la trayectoria.
- Byte H4. Indicador de Multitrama (posicionador), para carga estructuradas de TU's.
- Bytes Z3.- Reservado para propósitos de comunicación entre usuarios dependiente de la carga de información.
- Bytes Z4.- Reservados para uso futuro.
- Byte Z5.- Dedicado para propósitos de Administración de la Red o específicos, bits de 1 a 4 se usan como contador de errores de entrada (Input Error Counter IEC), y los bit 5 a 8 como canal de comunicaciones.

2.6.8. Mapeo.

La Jerarquía Digital Síncrona SDH puede transportar varios tipos de señales como son las señales PDH de 2, 34 140 Mbps. Para cada tipo de señal, SDH realiza un tipo especial de

mapeo, es decir, un tipo especial de acomodo. Para transportar estas señales se necesita acomodar adecuadamente en casilleros. Para llegar "bien" no deben quedar holgadas, para lo cual se necesitan agregar "bits de relleno", además de otros bits para tener un buen "embalaje" de esas señales, agregando bits de sincronía para contrarrestar las desviaciones en fase y en frecuencia y canales de comunicación.

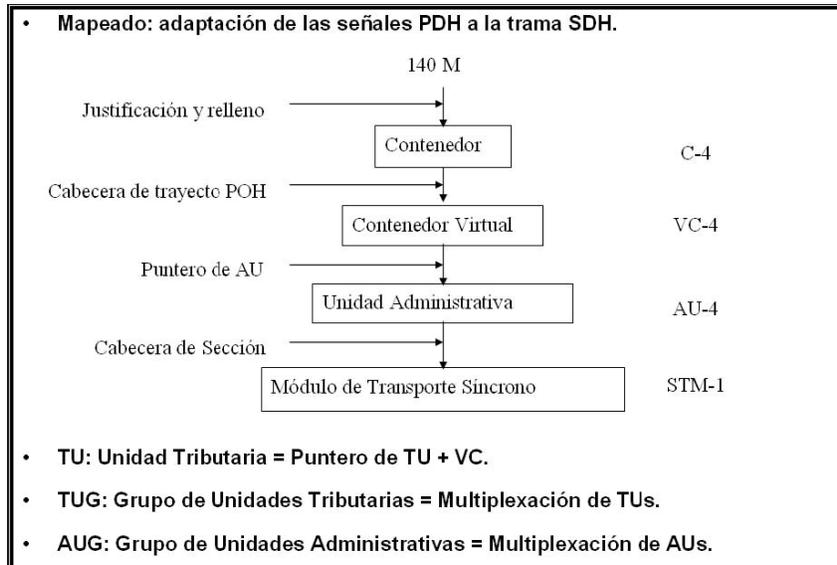


Figura 2-20 Mapeado SDH.

El Mapeo, es un procedimiento que se lleva a cabo en los puntos de acceso a la red síncrona, mediante el cual las tributarias (ya sean señales PDH, celdas ATM, etc.), son adaptadas dentro de los contenedores virtuales. El Mapeo especifica como se van a llenar las diferentes estructuras SDH con las señales que se transportarán. Esto es manejado por medio de la “Justificación”, en forma muy similar al mecanismo de la justificación empleado en PDH.

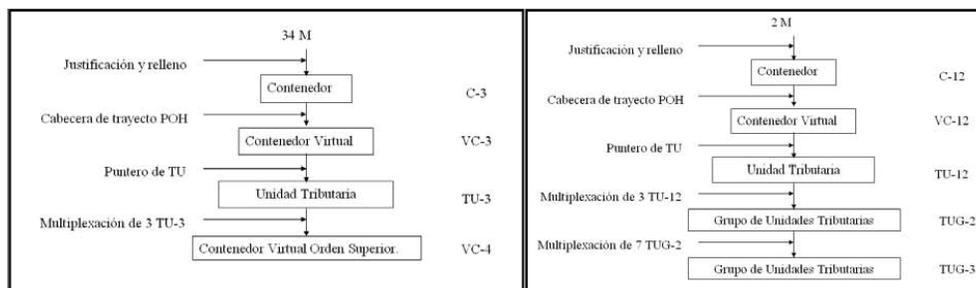


Figura 2-21 Mapeo de 34 Mbps y 2 Mbps.

2.6.9. Apuntadores.

Los apuntadores AU y TU proporcionan un método que permite la localización dinámica y flexible de VC's dentro de las tramas AU y TU. Los valores de los apuntadores describen la posición inicial de los VC's flotantes dentro de la carga de información de la trama AU o TU y que son recalculados en cada nodo. El uso de apuntadores evita la necesidad de tener buffers para AU o TU con lo que el retraso (Delay) de la red SDH es minimizado. Los apuntadores facilitan la operación PDH de los VC's dentro de la red SDH ya que pueden suceder desviaciones de fase o frecuencia entre dos puntos de conexión. Otra función de los apuntadores es la de indicar el inicio de la información y término de la misma entre un contenedor y otro de cada trama STM-1.

Los apuntadores se definen en dos niveles:

- TU-n: Identifica el comienzo del VC-n relativo al VC-4 para cada uno de los n VC's.
- AU-n: Identifica el comienzo del VC-4 en relación con la Trama STM-1. Cuando las diferencias de fase o frecuencia se presentan estas deben ser compensadas con un incremento o decremento de información o relleno en la carga útil transportada para lo cual se requiere justificar la validez de este proceso haciendo uso de los últimos 3 bytes (H3) del apuntador a lo cual se conoce como proceso de "Justificación".

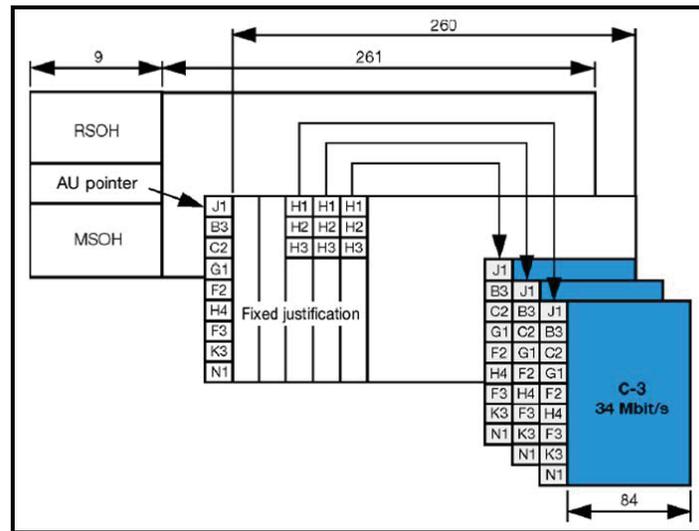


Figura 2-22 Apuntadores VC-4 y Apuntadores a los VC-3.

2.6.10. Formación de una Trama STM-1 a partir de 2Mbps.

Para la formación de una trama de STM-1 a partir de señales de entrada de 2 Mbps, se deben realizar los siguientes seis pasos:

1°. Adaptar la señal de PDH entre 2.046 y 2.050 Mbps dentro de un contenedor (C-12) el cual incrementa su velocidad a 2.224 Mbps y efectuar el alineamiento.

2°. Se debe agregar un encabezado (V5 POH) de bajo orden para formar un nuevo contenedor llamado virtual ó (VC-12) que incrementa de nuevo la velocidad a 2.240Mbps.

3°. Se debe indicar el inicio de cada VC-12 y para lo cual se agrega un apuntador (PTR) que lo convierten ahora en una unidad tributaria (TU-12) aumentando ahora su velocidad a 2.304Mbps.

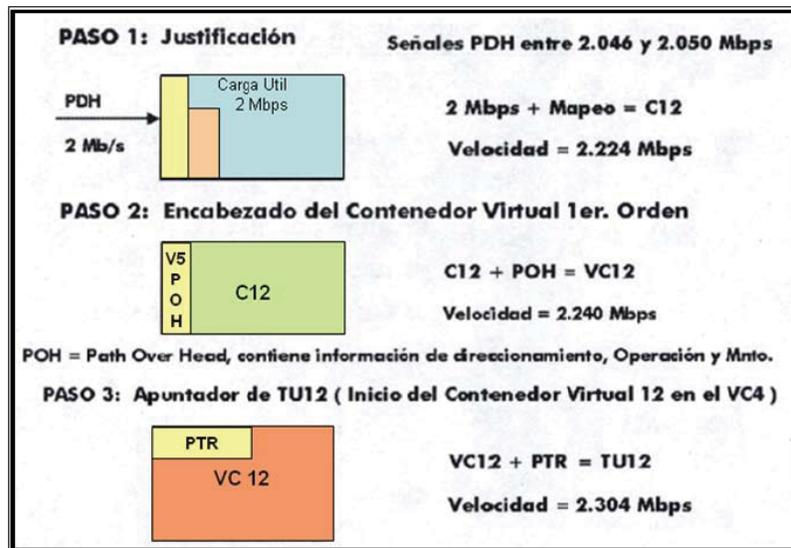


Figura 2-23 Formación del STM-1 a partir de 2 Mbps.

4°. Este paso en realidad es de tres partes ya que se agrupan 3 TU-12 en uno solo llamado grupo de unidades tributarias de 2º nivel o (TUG-2) con una velocidad de 6.192 Mbps. En este paso se agrupan también 7 TUG-2 para formar un grupo de unidad tributaria de 3er nivel o TUG-3 con una velocidad de 49.536 Mbps.

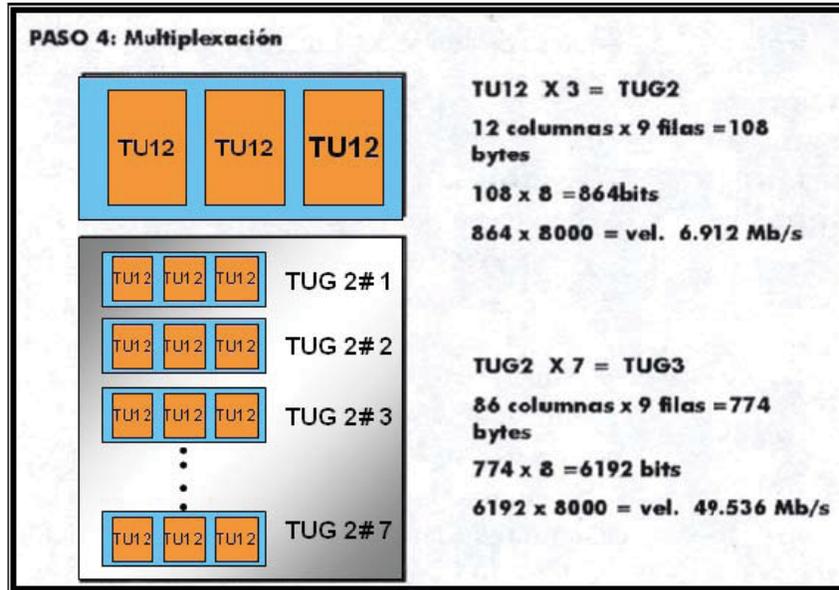


Figura 2-24 Formación del STM-1 a partir de 2 Mbps “KLM” (a).

En este paso también se conjuntan 3 (TUG-3) para formar un contenedor que será de 4º nivel llamado VC-4 que es el contenedor básico de un STM-1 y cuya velocidad será 50.336 Mbps.

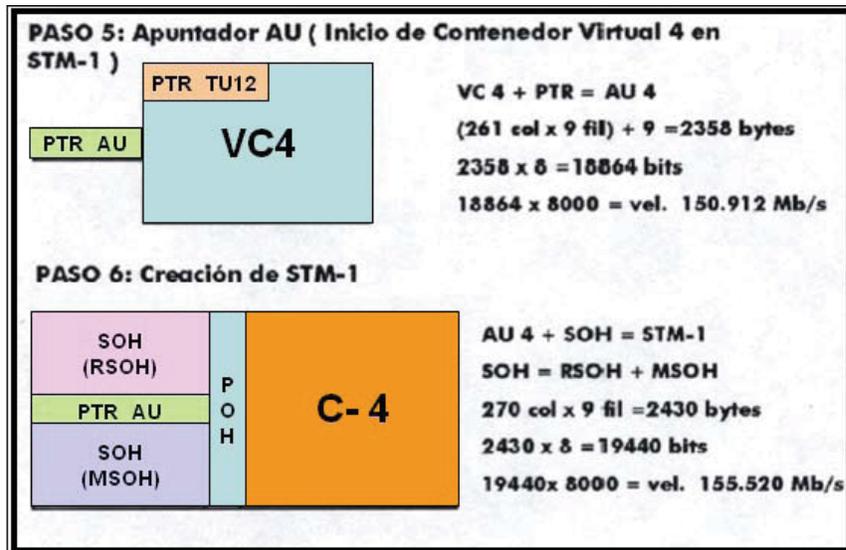


Figura 2-26 Formación del STM-1 a partir de 2 Mbps (c).

2.7. REDES DE TRANSPORTE SDH.

Para la Jerarquía Digital Síncrona se pueden distinguir cuatro elementos de red que son:

- Multiplexores Síncronos (MUX).
- Enrutador Digital o Cross Connect (SDXC)
- Multiplexor para Insertar/Obtener (ADM)
- Regeneradores Síncronos (REG) A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

2.7.1. Multiplexor Síncrono (MUX).

Conocidos como MUX. Los multiplexores realizan la función de interfaz de las señales PDH con las señales SDH y multiplexa las señales SDH de orden más bajo con las señales SDH de orden más alto. Un MUX forma parte de un SDXC y de un ADM, en general el MUX es el núcleo de la SDH y dependiendo de cómo esté conectado y equipado se obtendrán distintas configuraciones.

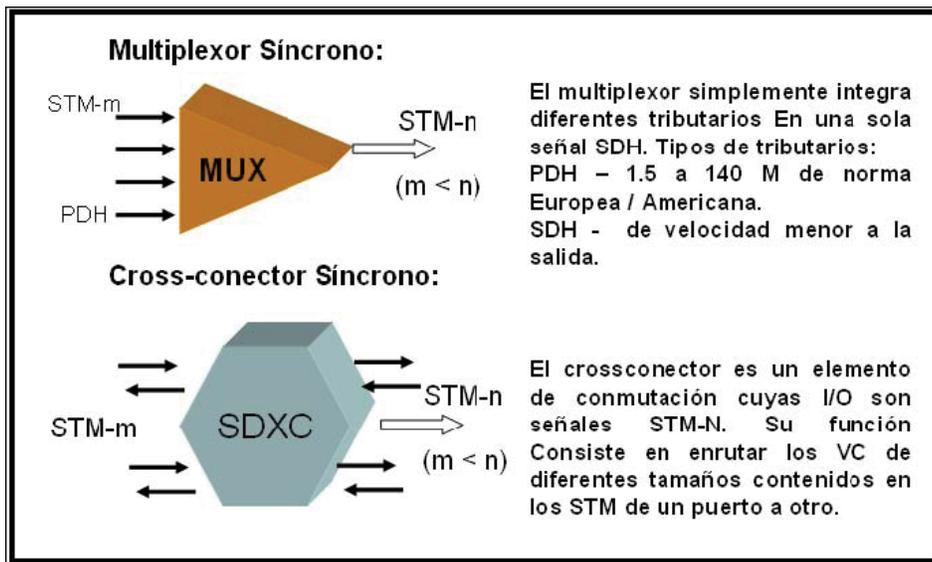


Figura 2-27 Elementos de Red SDH a).

2.7.2. Enrutador digital (SDXC).

Conocido como Synchronous Digital Cross Connect o Enrutador Digital Síncrono, es un dispositivo que permite conmutar las líneas de transmisión con diferentes velocidades. También un SDXC es capaz de agregar o insertar señales de orden más bajo. Son conmutadores semipermanentes.

2.7.3. Multiplexor para insertar/obtener (ADM).

Conocido como ADM o Add / Drop Multiplexer, el ADM permite agregar e insertar señales de bajo orden de flujos de más alto orden, por ejemplo una señal de 2 Mbps de un flujo SDH de 155 Mbps.

2.7.4. Regenerador síncrono (REG).

Un Regenerador Síncrono se encarga de regenerar señales ópticas de línea entrantes. Además también supervisa la calidad de transmisión de la línea.

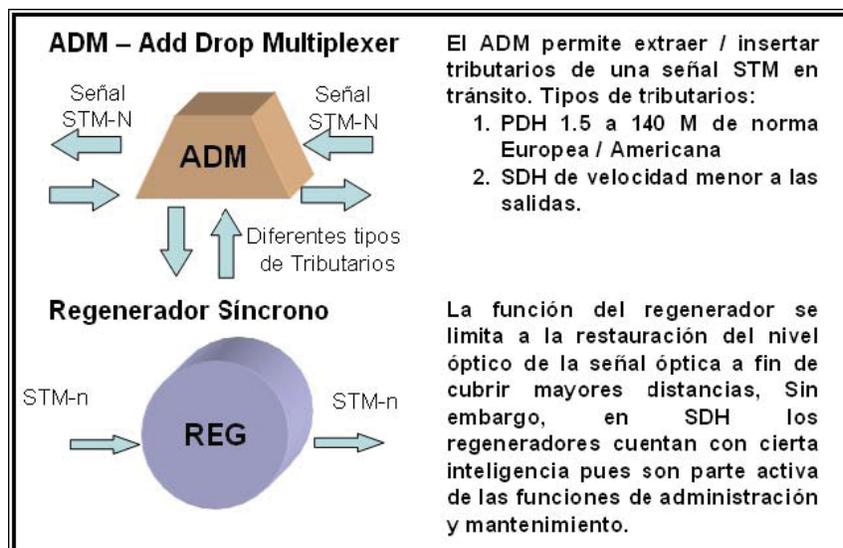


Figura 2-28 Elementos de Red SDH b).

Todos los elementos de la red (NE) mencionados se pueden acceder por medio de una red de administración de telecomunicaciones (TMN) para la operación y mantenimiento de la red entera de una manera centralizada y totalmente digital.

2.7.5. Topologías de Redes SDH.

Existen varias topologías de redes comenzando con las PDH:

- Son de las primeras configuraciones disponibles, por lo tanto las más instaladas.
- No explota muchas de las ventajas de SDH.
- Vulnerable a cortes porque la protección de ruta puede ser costosa.
- Protección de equipo opción a considerar en la extensión económica de redes.
- El Manejo flexible de tráfico no existe.
- Variedad de posibilidades de protección.

Sin duda la mejor opción costo vs. beneficio. La topología más popular en redes SDH.

- Varias opciones de protección.
- Requiere del enrutamiento entre varios nodos.
- Sin duda, la configuración más confiable, pero la más cara.
- Requiere de DXC, disponible con ciertas limitaciones.
- Requiere del entendimiento entre nodos.
- Varias opciones de protección.

2.7.6. La Sincronía en equipos SDH.

Para garantizar la calidad de la sincronía de reloj, entre las conexiones internacionales y operadores distintos, con equipos de Jerarquía Digital Síncrona, la UIT toma como referencia para los requerimientos de exactitud de los Relojes de Referencia Primaria (PRC), el Tiempo Universal Estándar o UCT (Universal Coordinate Time).

El límite máximo permisible de variación de frecuencia a largo plazo para el PRC es de 1×10^{-11} ppm, que es la mitad del desplazamiento que se efectúa usando el UCT y produce un desplazamiento de byte por cada setenta días en un canal de 64Kbps entre dos nodos de red

sincronizados a partir de dos PRC diferentes. Los equipos SDH se sincronizan de las siguientes formas:

- Externa 1, Externa 2.
- Línea 1, Línea 2, Línea 3.
- Tributaria 1, Tributaria 2.

Interna. La manera de distribuir la señal de reloj es de dos formas, la primera es de tipo estrella, la cual produce muchos deslizamientos de la señal hasta llegar al equipo terminal SDH. El otro modo es el más recomendado, se denomina sincronía de relojes nodales, es decir la sincronía se realiza a través de nodos con jerarquía para la distribución de la señal de reloj en forma de pirámide. Existen dos métodos para sincronizar relojes nodales:

Sincronía mutua: Funciona mediante fuentes de reloj con la misma frecuencia nominal entrelazadas mediante enlaces de sincronización. Todos los relojes son combinados en un circuito de regulación de reloj para obtener una frecuencia promedio que pueda permanecer estable aún cuando exista falla de los osciladores.

Sincronía Maestro – Esclavo: Utiliza una jerarquía de relojes en la cual cada nivel de jerarquía se sincroniza con la referencia del nivel superior, siendo el Reloj de Referencia Primaria (PRC) el de nivel más alto. Las señales de referencia de reloj son transportadas mediante una red de distribución que puede utilizar la infraestructura de la red de transporte. La forma de sincronizar más recomendada para la distribución de reloj, es por medio de la sincronización maestro – esclavo, bajo las siguientes recomendaciones de la UIT:

- G.811: Reloj de referencia primaria (PRC).
- G.812: Reloj esclavo (nodo de tránsito).
- G.813: Reloj esclavo (nodo local).
- G.81x: Por definirse.

2.7.7. Recomendaciones de UIT-T para SDH.

Recomendaciones sobre la Estructura Básica y las señales Eléctrica:

- G.702 Velocidades de bit de la Jerarquía Digital.
- G.703 Características físicas y eléctricas de la interfaz de SDH.
- G.708 Interfaz de Nodo de Red (NNI) para SDH.
- G.709 Estructura de Multiplexación Síncrona.

Recomendaciones sobre Sistemas Ópticos:

- G.957 Interfaz óptica para el equipamiento y sistemas relacionados a la SDH.
- G.958 Sistemas de Línea Digital basados en la SDH para el uso de cables de

Fibra óptica. Recomendaciones para los elementos de red de SDH:

- G.781 Trata sobre la estructura del equipo de multiplexación para SDH.
- G.782 Tipos y características generales del equipo de multiplexación de la SDH.
- G.783 Características de los bloques funcionales del equipo de multiplexaje de la trama SDH.
- G.784 Administración de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

Recomendaciones sobre la Red de Administración de Comunicaciones (TMN):

- M.30 Principios para la Administración de Red de Telecomunicaciones (TMN).
- G.773 Serie de protocolos para las interfases Q (Interfaz para equipo de supervisión) para la administración de sistemas de transmisión.

Red de Fibra Óptica Nacional, lo cual implica una mejor preparación y un nivel de competencia de clase mundial.

2.7.8. Generales.

Los beneficios técnicos – económicos que han traído consigo la implementación de la Red Nacional de Fibra Óptica, no solo en el ámbito de la Subárea Bajío Central, si no en toda la República, son cuantiosos ya que los servicios proporcionados por dicha Red representados simbólicamente en la *figura 4.2*, considerando únicamente los brindados a la propia Comisión Federal de Electricidad, constituyen un ahorro extraordinario; donde la mayoría de estos servicios eran canales rentados a proveedores externos o eran provistos por enlaces de muy bajas velocidades.

Los Servicios ofrecidos para Clientes Internos (Entidades de C.F.E. únicamente) destacan:

- **Seguridad de la Red Eléctrica:** Proporcionados por equipos de Teleprotección, PMU's, DAG's y DAC's y sistemas de SITRACEN.
- **Servicio de Atención a Clientes:** con módulos de Atención a Clientes y C.F.E.-máticos.
- **Administración y Control de la Red Eléctrica:** a través de los sistemas llamados SIME y SICLE, canales de Voz para el despacho y de los centros de control y despacho de energía.
- **Servicios Técnicos – Administrativos:** como lo son: la video vigilancia, la videoconferencia, la propia voz telefónica, capacitación a distancia, la Red de Datos institucional “Intranet” y el Sistema SAP-ASARE entre otros.

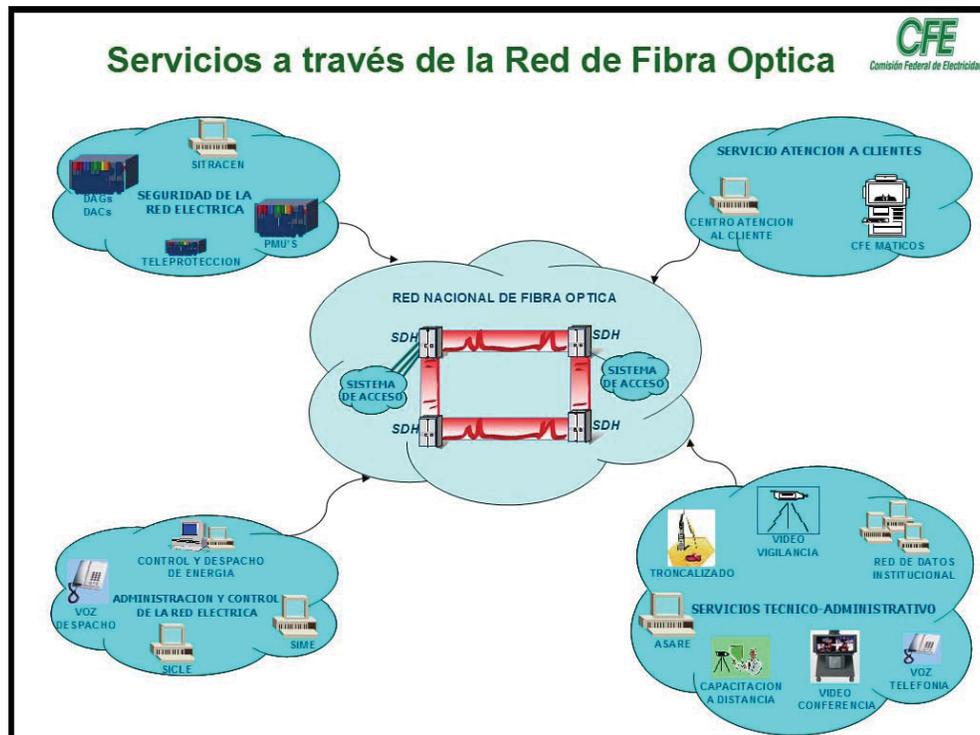


Figura 2-29 Servicios internos a través de la Red de Fibra Óptica.

Los Servicios ofrecidos para Clientes Externos (AXTEL, PEMEX, SCT, ALESTRA, PEGASO, ETC.) destacan:

- **Servicios de Capacidad Local y Nacional:** Servicios de telecomunicaciones que presta C.F.E., consistentes en la infraestructura propia que permite la conexión privada punto a punto entre dos domicilios del Cliente para su uso exclusivo, sin límite de utilización y sin restricción de horarios.

Se componen de los Accesos Locales y el Enlace Internodal. Puede proveerse bajo la modalidad de Clear Channel o en protocolo Ethernet a saber:

CFE Una empresa de clase mundial			
PRINCIPALES CLIENTES:			
	255 SERVICIOS		2 SERVICIOS
	32 SERVICIOS		4 SERVICIOS
	2 SERVICIOS		1 SERVICIO
	6 SERVICIOS		
		<i>Coordinación de Fibra Óptica</i>	

Tabla 2-6 Principales Clientes Externos de C. F. E.

- **Clear Chanel:** Es el canal de comunicación que se entrega sin ningún tipo de señalización o protocolo de comunicación específico.

E1 = **2Mbps**

E3 = **34Mbps**

DS3 = **45Mbps**

STM-1 = **155Mbps**

STM-4 = **620 Mbps**

- **Ethernet:** Se refiere al protocolo de comunicaciones Ethernet 802.3.

2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250,
300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 900, 950, 1000, 1200 Mbps.

2.7.9. Las principales ventajas que ofrece la comunicación por Fibra Óptica.

Generales:

- Mayor capacidad de ancho de banda.
- Control total de la red al contar con Sistemas Gestión a cargo de C.F.E..
- No se requieren autorizaciones y pagos ante SCT/COFETEL adicionales, utilizando derecho de vía de las propias Líneas de Transmisión.
- Ofrece alta confiabilidad al permitir vías alternas y Mantenimiento implícito.

Específicas:

- Ahorros adicionales por concepto de servicios de telecomunicaciones a C.F.E.
- Diversificación de los ingresos de C.F.E.
- Financiamiento del desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones de la Institución.
- Disminuir la brecha digital en el país, al introducir la competencia en regiones donde ésta es escasa.
- Contribución al fondo de pensiones de los trabajadores de C.F.E.

III. SISTEMAS DWDM Y CWDM.

3.1. WDM.

En telecomunicación, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, del inglés Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED.

Este término se refiere a una portadora óptica (descrita típicamente por su longitud de onda) mientras que la multiplexación por división de frecuencia generalmente se emplea para referirse a una portadora de radiofrecuencia (descrita habitualmente por su frecuencia). Sin embargo, puesto que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, y la radiofrecuencia y la luz son ambas formas de radiación electromagnética, la distinción resulta un tanto arbitraria.

El dispositivo que une las señales se conoce como multiplexor mientras que el que las separa es un demultiplexor. Con el tipo adecuado de fibra puede disponerse un dispositivo que realice ambas funciones a la vez, actuando como un multiplexor óptico de extracción y de inserción.

3.1.1. Variantes en WDM.

DWDM División por longitud de onda densa.

CWDM División por longitud de onda gruesa.

Los primeros sistemas WDM aparecieron en torno a 1985 y combinaban tan sólo dos señales. Los sistemas modernos pueden soportar hasta 160 señales y expandir un sistema de fibra de 10 Gb/s hasta una capacidad total 25.6 Tb/s sobre un solo par de fibra.

Existen dos variantes en la tecnología WDM que han sido desarrolladas:

- Multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM dense wavelength division multiplexing)
- Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM coarse wavelength division multiplexing)

3.1.1.1. DWDM.

El espaciamento entre bandas es de:

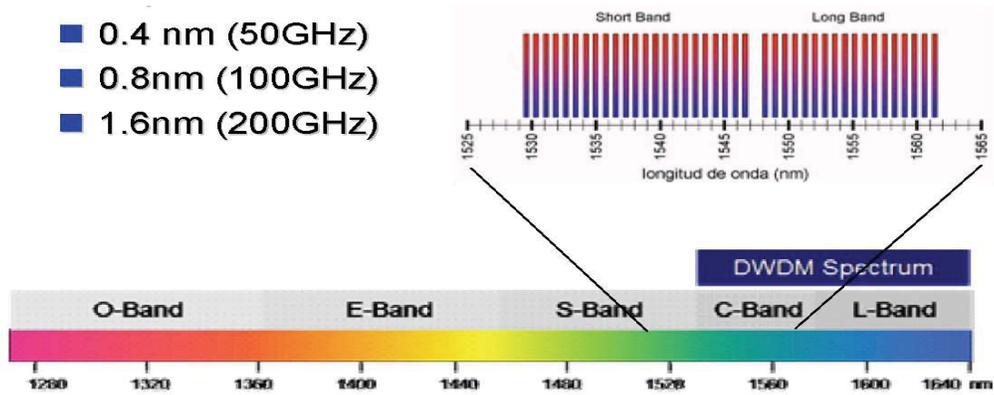


Tabla 3-1.- Longitud de onda (nm).

Con la finalidad de que los equipos operando en tecnologías WDM tengan la posibilidad de inter-operar con equipos de distintas marcas, la ITU (Unión Internacional de telecomunicaciones) ha sugerido un estándar en lo que respecta el espaciamento de lambdas para DWDM. De esta manera ha sugerido 3 tipos de espaciamento, 50GHz, 100GHz y 200Ghz.

3.1.1.2. CWDM.

El espaciamiento entre bandas es de 20 nm (2500 Hz).

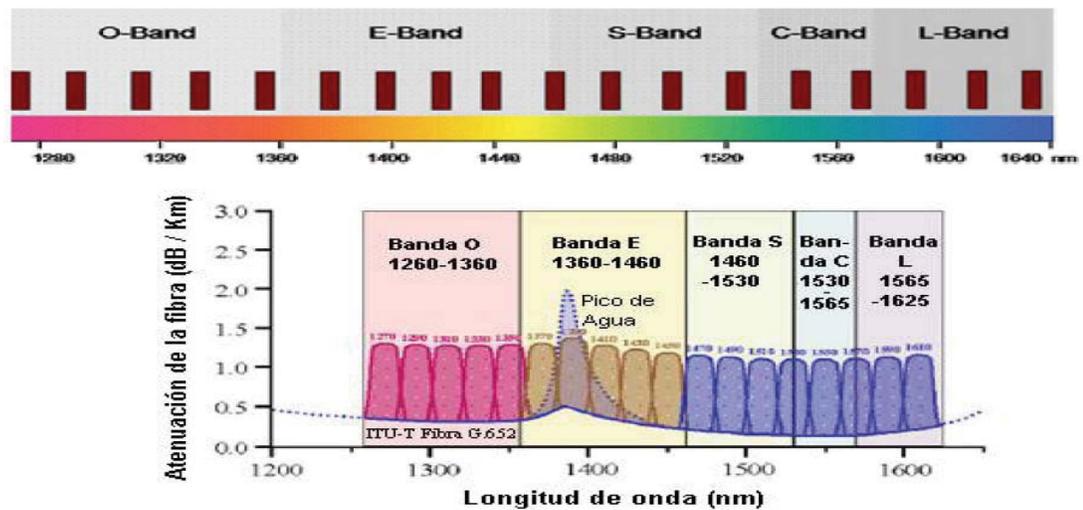


Tabla 3-2.- Longitud de onda y atenuación de la fibra..

Para el caso de CWDM, la ITU propuso un espaciamiento de 2,500 GHz (o 20 nanómetros). Además también sugirió cual debe ser la frecuencia central para cada longitud de onda repartida en las distintas ventanas de operación.

3.2. DWDM VS CWDM.

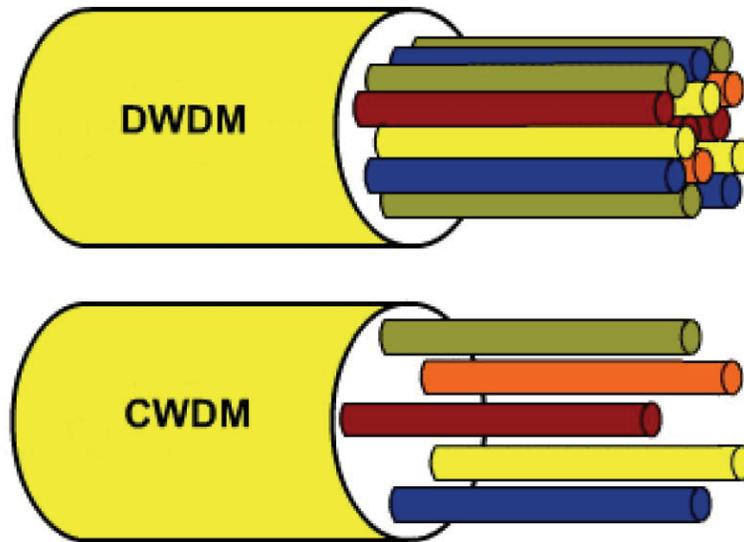


Figura 3-1.- Fibra DWDM y CWDM.

DWDM se caracteriza por tener un espaciamento entre canales mas angosto que CWDM, por lo tanto DWDM ofrece mas capacidad que CWDM.

En general, los transmisores en DWDM requieren un a longitud de onda de mayor precisión que CWDM, lo que incrementa el costo de la solución con DWDM, también requiere una mayor precisión en los filtros utilizados.

3.3. Uso de WDM.

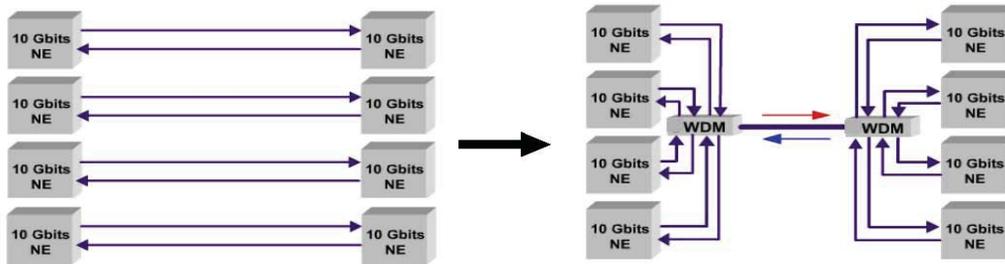


Figura 3-2.- Aplicación de WDM.

La ventaja de utilizar WDM es que se puede enviar la misma información que antes utilizaban varias fibras ópticas por una misma fibra, lo que permite optimizar la utilización de estas e incrementar la capacidad de transmisión de la fibra óptica.

3.3.1. Componentes de WDM.

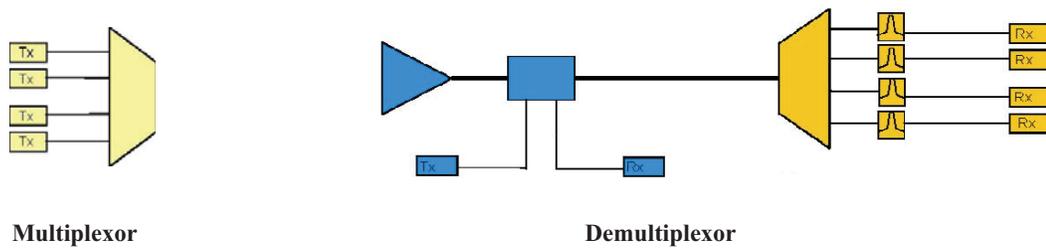


Figura 3-3.- Multiplexor y Demultiplexor.

Algunos de los componentes ópticos utilizados en un enlace punto a punto utilizando tecnología WDM es mostrado en la figura superior.

3.3.2. Amplificación Óptica.

Algunos de los componentes ópticos utilizados en un enlace punto a punto utilizando tecnología WDM es mostrado en la figura superior.

Antes de la existencia de los amplificadores ópticos (OA), se requería un repetidor por cada señal transmitida. El OA ha hecho posible el hecho de poder amplificar todas las longitudes de onda a la vez y sin conversión OEO Óptico-Eléctrico-Óptico (Optical-Electric-Optical). Además de ser usados en enlaces ópticos, los amplificadores ópticos también se puede usar para aumentar la potencia de la señal después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, dado que ambos procesos introducen pérdidas en el sistema.

3.3.3. Regeneradores.

Al principio se empleaban regeneradores o repetidores electrónicos. Estos realizan una conversión de la señal del dominio óptico al eléctrico, amplifican la señal eléctrica, la re-sincroniza, recuperan su forma y realizan una conversión del dominio eléctrico al óptico. Estos regeneradores que actúan en el dominio eléctrico no son adecuados cuando se trabaja con sistemas con varias longitudes de onda y de alta velocidad, además de ser caros y complejos debido al uso de electrónica de alta frecuencia. Por ello surgen los amplificadores ópticos.

3.3.3.1. Tipos de regeneradores.

Atendiendo al procesado que se efectúa sobre una señal, los regeneradores se clasifican en tres tipos, como se muestra en la figura:

1R. Regeneración. Amplificación de la señal. Son por tanto transparentes al formato de la modulación y se pueden aplicar a señales analógicas. Por contra, añaden ruido y no contrarrestan los efectos de la dispersión y de las no linealidades.

2R. Regeneración & Reformando. Además de amplificar, se recupera de la forma de la señal. Por tanto sólo son aptos para señales digitales.

3R. Regeneración, Reformando & Sincronizando. Además de amplificar y regenerar la señal, la sincroniza. Este tipo de regeneradores cancela los efectos de las no linealidades y de la dispersión.

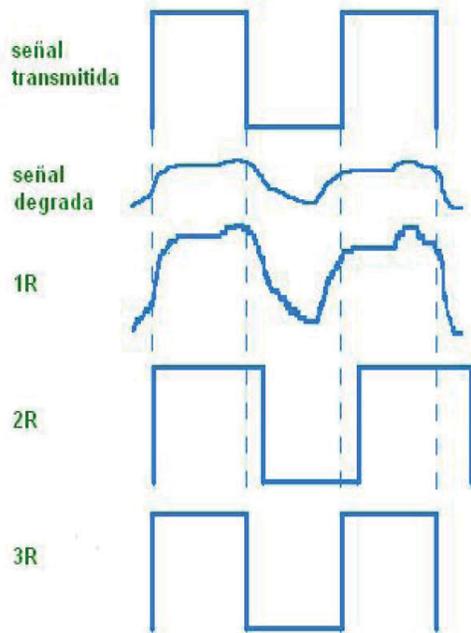


Figura 3-4.- Tipos de Generadores.

3.3.3.2. Amplificadores Ópticos.

Los amplificadores ópticos se utilizan para incrementar el nivel de la señal óptica. Tienen el inconveniente que amplifican la señal sin importar lo deformada que esta esté. Se deben tener consideraciones al usar amplificadores en tramos muy largos.

Ventajas:

- Tiene un amplio ancho de banda, por lo que amplifica varias longitudes de onda simultáneamente.
- Mayor simplicidad por lo tanto menor probabilidad de error y menor costo que los regeneradores.

Desventajas:

- Introducen un ruido adicional que es amplificado junto con la señal.
- Al no regenerar la señal produce un efecto acumulativo de dispersión.
- Su ancho de banda es finito por lo que limita el número de canales en los sistemas WDM.

3.3.3.3. Tipos de Amplificadores.

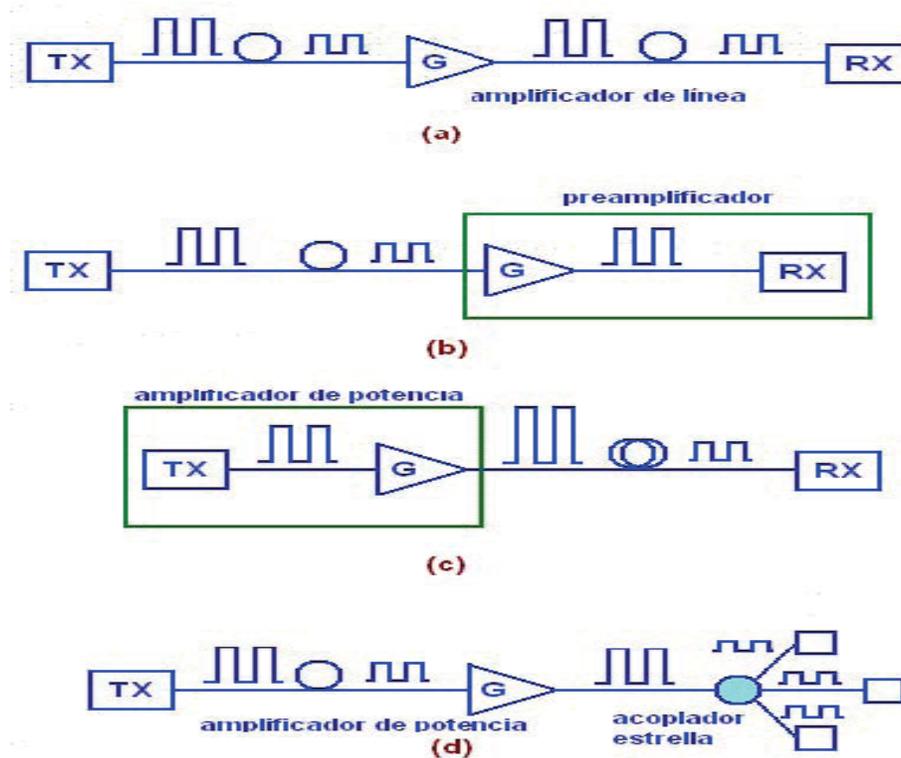


Figura 3-4.- Tipos de Amplificadores.

Como amplificador de línea en un enlace con fibra monomodo, se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal y compensar así las pérdidas sufridas por la propagación de la señal. Frecuentemente se instalan varios amplificadores en cascada a lo largo de la línea.

Como preamplificador comienzo-final en un receptor, su misión es amplificar la señal antes de ser detectada por el fotodetector para mejorar así la relación señal ruido.

Como amplificador de potencia situándose a continuación de la fuente láser, se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal e incrementar la distancia de transmisión.

3.4. Técnicas para la Compensación de Dispersión.

La dispersión cromática consiste en un retardo variable dependiente de la frecuencia introducida durante la propagación a través de la fibra y que produce distorsión no lineal a la salida del fotodetector.

Es decir, las componentes frecuenciales que constituyen el espectro de la señal óptica viajan a velocidades diferentes por la fibra y alcanzan el fotodetector en instantes ligeramente distintos.

En el caso de transmisiones digitales, el efecto se manifiesta en un ensanchamiento temporal de los pulsos ópticos que provoca interferencia entre símbolos.

Conforme los pulsos ópticos son más estrechos (mayores velocidades de modulación) o el enlace de fibra más extenso (mayor dispersión acumulada), las degradaciones son más notables.



Figura 3-5.- Dispersión en una Fibra Óptica.

La dispersión es la distorsión de la señal, resultante de los distintos modos (simple y multimodo), debido a los diferentes tiempos de desplazamiento de una señal a través de la fibra. En un sistema modulado digitalmente, esto causa que el pulso recibido se ensanche en el tiempo [ver Figura 3-5].

No hay pérdida de potencia en la dispersión, pero se reduce la potencia pico de la señal. La dispersión aplica tanto a señales analógicas como digitales. La dispersión es normalmente especificada en nanosegundos por kilómetro.

3.5. Fibra Compensadora de Dispersión.

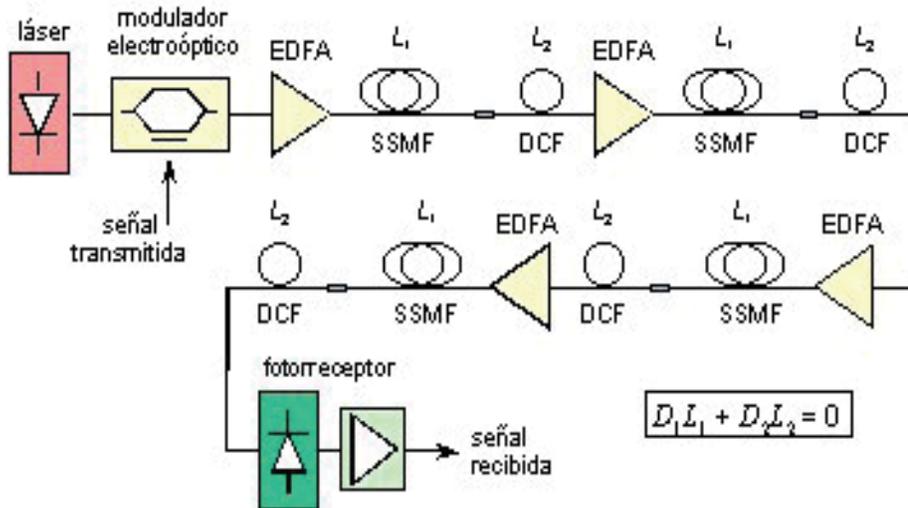


Figura 3-6.- Enlace Óptico DCFs.

En la figura siguiente se representa esquemáticamente un enlace óptico de gran distancia que emplea DCFs para compensar la dispersión cromática. La señal a transmitir se introduce en el sistema por medio de un modulador electro-óptico situado a la salida de la fuente óptica láser, y se recibe por medio de un fotodetector junto con un amplificador electrónico de banda ancha.

Para ecualizar la dispersión introducida a lo largo del enlace, éste se divide en secciones compuestas de un tramo de SSMF, una cierta longitud de DCF y, finalmente, un EDFA para recuperar la potencia de señal. Aunque en la figura se representa la técnica basada en "post-compensación", se podría realizar igualmente la "pre-compensación" sin más que intercambiar de posición los trayectos de SSMF y DCF. A pesar de lo dicho anteriormente, las DCFs sufren de varios problemas. En primer lugar, 1 km de DCF compensa tan sólo unos 10-12 km de fibra estándar (recientes avances han conseguido producir fibras cuya dispersión excede los 200 ps/km·nm). En segundo lugar, sus pérdidas son relativamente elevadas a 1550 nm (alrededor de 0,5 dB/km). Y en tercer lugar, debido a su reducido diámetro modal, la intensidad óptica en el interior de la fibra es superior para una misma potencia óptica, lo cual provoca un acentuamiento de los efectos no lineales.

En la actualidad se trabaja sobre estas líneas para mejorar las prestaciones de las DCFs. Algunos resultados ya obtenidos se basan en una estructura de fibra bimodal, alcanzándose parámetros de dispersión tan elevados como -770 ps/km·nm con idénticas pérdidas que la fibra estándar.

Desde la aparición de la tecnología WDM se han incrementado las capacidades de transmisión sobre la fibra óptica ya instalada.

Sin embargo, esta nueva tecnología tiene que ser utilizada sobre fibras ópticas ya instaladas y que no fueron diseñadas para optimizar el uso de WDM.

El conocer los dispositivos que permiten adecuar la señal en la fibra óptica es muy importante, ya que la selección de éste dependerá en gran medida de lo que tenga instalado.

Es importante recalcar que el abuso en el uso de amplificadores ópticos puede traer problemas en los enlaces ópticos de larga distancia debido a la degradación de la relación señal a ruido.

El uso de fibras compensadoras de dispersión permite adecuar fibras de generaciones anteriores a los nuevos equipos de tecnologías recientes, de ahí la importancia de conocer técnicas de compensación utilizando dichas fibras.

En un enlace WDM con múltiples nodos, la principal componente de sus pérdidas no es la atenuación debida a la transmisión en el enlace, es la atenuación asociada con los distintos subsistemas.

Un enlace típico consta de múltiples nodos, cada equipo con una variedad de componentes. Las pérdidas debidas a cada componente es grande lo que provoca una severa penalización en el diseño del sistema.

Un nodo WDM típico tiene un OMS (optical multiplex section) que consiste de arreglos de guías de onda AWGs (arrayed waveguides) y matrices de conmutación.

Típicamente un AWG presenta pérdidas por inserción de 5 dB, considerando que una señal pasa a través del nodo por dos AWG (la sección de multiplexaje y la de demultiplexaje), esta tendrá 10 dB de pérdidas únicamente por este proceso.

Si consideramos dos nodos separados 50 Km con una pérdida en la fibra de 0.2dB/Km, la atenuación total debida a la transmisión es de 10dB, adicionalmente las pérdidas por inserción serán: AWG 5dB, el conmutador óptico 3dB y los conectores 2dB tendremos $5+5+3+2=15$ dB que son considerables respecto a las pérdidas por transmisión.

3.6. Diseño Usando Compensación de dispersión Cromática.

La fibra óptica sin desplazamiento de dispersión cromática (convencional) fue creada para reducir al mínimo las pérdidas y llevar al máximo el ancho de banda en sistemas de 1310 nm.

Con alta dispersión cromática a 1550 nm (aproximadamente 17 ps/nm-km), se puede incrementar el costo por agregado de compensación y/o equipos de transmisión en sistemas con amplificadores de alta capacidad.

La fibra óptica de dispersión cromática no-cero (NZDSF) reduce al mínimo el costo de compensación, en comparación con fibras ópticas sin desplazamiento de dispersión cromática.

Por ejemplo, las fibras ópticas de dispersión cromática no-cero con área efectiva grande tienen generalmente mayor variación de dispersión cromática en función de la longitud de onda.

En sistemas de larga distancia con multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM), esta susceptibilidad mayor a la variación demanda el uso de sistemas complejos de compensación de dispersión. La banda debe ser dividida en varias sub-bandas, cada una de las cuales se compensa individualmente para diferentes valores de dispersión cromática. La NZDSF reduce la complejidad y el costo asociado a estos procedimientos.

3.7. Arquitectura y Topologías de Redes WDM.

- La arquitectura y la topología de las redes WDM están basadas en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos, distancia, utilización, y estructura de acceso, además de topologías de redes anteriores.
- La capa óptica puede ser capaz de soportar muchas topologías, y estas pueden ser flexibles.
- Las topologías empleadas mayormente son:
 - Punto a Punto.
 - Anillo.
 - Malla.

3.7.1. Topología Punto a Punto.

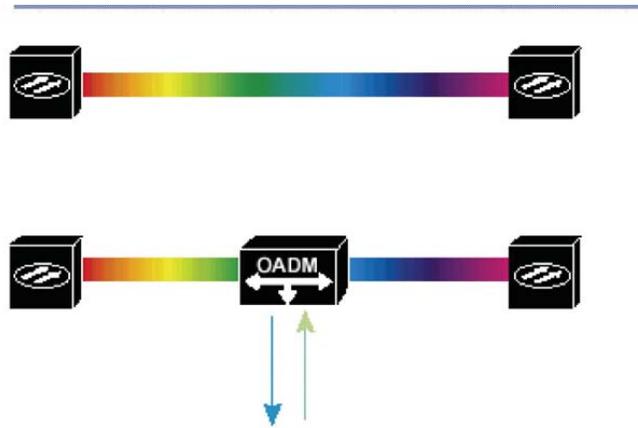


Figura 3-7.- Topología Puntp a Punto.

Para conectar puntos de empresas Rápida restauración de trayectoria. Alta integridad y confiabilidad de la señal Puede ser implementada con o sin OADMs. Velocidad de canal muy rápida (10-40 Gbps)

3.7.2. Topología de Anillo.

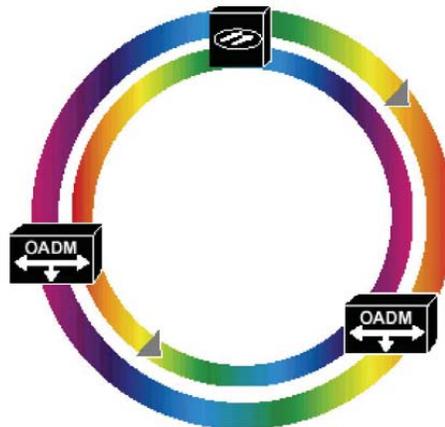


Figura 3-8.- Topología de Anillo.

Para conectar instalaciones Inter-oficinas (IOFs) y para acceso residencial.

Con el uso de OADMs, (los que bajan y suben longitudes de onda) este tipo de arquitecturas permiten a los nodos tener acceso a los elementos de red, tales como routers, switches y servidores.

Al aumentar el número de OADMs, la señal está sujeta a pérdidas y se pueden requerir amplificadores.

3.7.3. Topología de Malla.

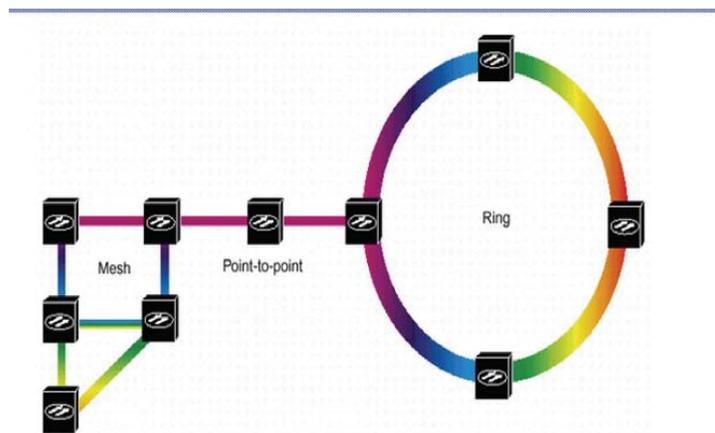


Figura 3-9.- Topología de Malla.

Para conexiones Inter-POP y en backbones (columna).

Es el futuro de redes ópticas, debido a la introducción de los OxCs Óptico Cruz-conectar (Optical Cross-Connects) y switches configurables

Requieren un alto grado de inteligencia para realizar las funciones de protección y administración de ancho de banda

La protección y restauración pueden estar basadas en caminos compartidos, por esta razón se requiere de pocos pares de fibra para la misma cantidad de tráfico y no se desperdician longitudes de onda sin usar.

3.8. Clasificación de las Redes Ópticas.

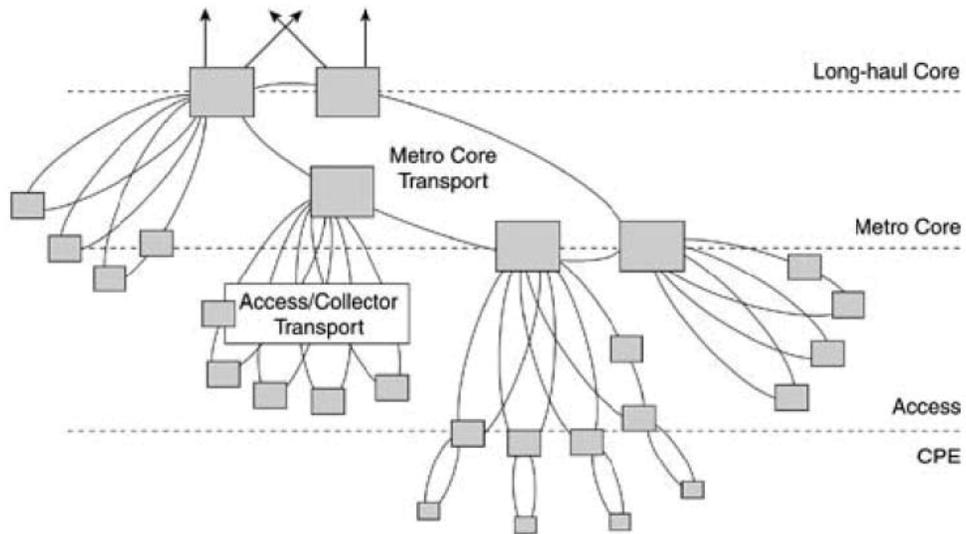


Figura 3-10.- Redes Ópticas.

Las redes se clasifican respecto a su tamaño y funciones en tres tipos.

El primer tipo es redes de acceso metropolitano o simplemente redes de acceso.

El segundo tipo es redes de área regional.

El tercer tipo es redes de larga distancia incluyendo las redes de ultra larga distancia como son las redes submarinas o intercontinentales.

3.9. Redes de Acceso Metropolitanas.

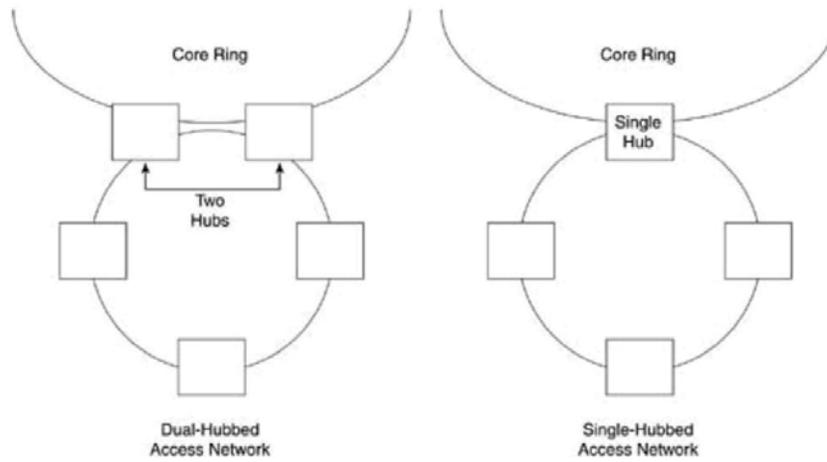


Figura 3-11.- Redes de Acceso Metropolitanas.

La red de acceso puede ser definida como el borde de la red que el usuario puede acceder directamente.

Las redes de acceso comúnmente usan la topología de anillo o bus/árbol.

Las redes de acceso son creadas para acceder al usuario final que generalmente son empresas o corporativos.

Las redes de acceso están conectadas a redes metropolitanas centrales.

3.10. Redes Metropolitanas Centrales.

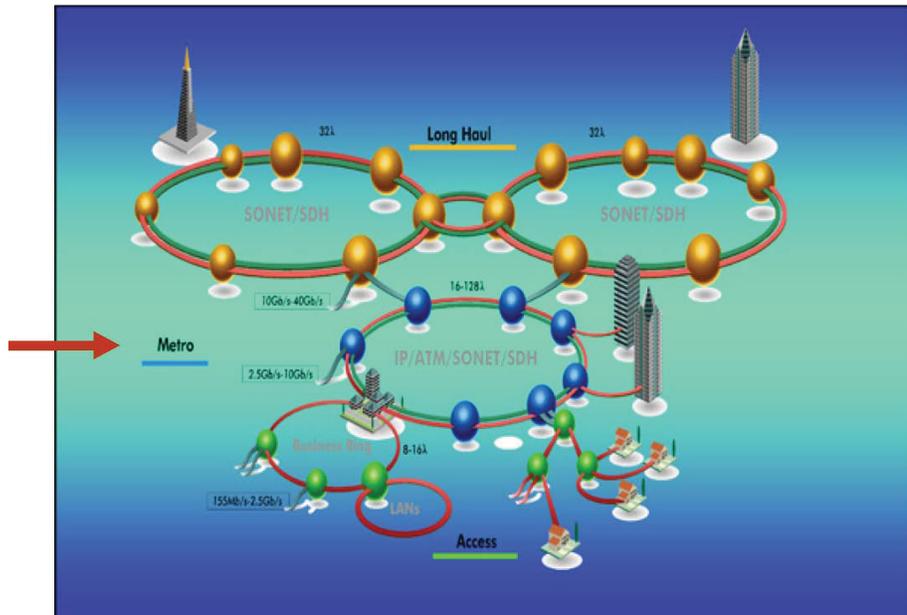


Figura 3-12.- Redes Metropolitanas Centrales.

Las redes metropolitanas centrales es nuestra siguiente capa en la clasificación de las redes ópticas.

Típicamente las redes metropolitanas son redes de 100 a 300Km de longitud total de transmisión.

Muchas de estas redes tienen una topología basada en anillos debido a la migración que ha existido de las redes ópticas SONET/SDH que solían utilizar dichas topologías.

Debido a ello las redes metropolitanas tienen el trabajo de adecuar los distintos tipos de tráfico para distribuirlos de la forma más eficiente.

Para lograr dicha eficiencia el uso de tecnología WDM es una componente importante en el diseño de las redes metropolitanas.

3.11. Redes de Larga Distancia.



Figura 3-13.- Redes de Larga Distancia.

La última parte en la clasificación de redes ópticas es la red de larga distancia.

Tradicionalmente estas redes de larga distancia fueron las primeras redes en usar transmisión mediante fibra óptica.

Las redes de larga distancia son típicamente redes regionales o intercontinentales, conectando ciudades, países e incluso continentes.

Estas redes se pueden extender hasta algunos cuantos miles de kilómetros.

Conforme se fue incrementando las velocidades de transmisión se empezaron a remarcar los efectos negativos de algunos parámetros ópticos sobre las distancias de transmisión.

Las redes ópticas de larga distancia fueron entonces impactadas por efectos como la atenuación, dispersión y no linealidades.

Típicamente los sistemas de larga distancia son sistemas punto a punto con regeneradores entre dichos puntos con los que se asegura que la calidad de la señal sea la adecuada al llegar a su extremo final.

BIBLIOGRAFÍA.

Memoria Técnica Proyecto Las Delicias 2001. Memoria Técnica Proyecto Salamanca II 230 y 400 KV. 2002/2004 Memoria Técnica Proyecto LT QRP – LDE 2002 Memoria Técnica Proyecto Modernización Conin 2003 Memoria Técnica Proyecto Santa Fe 2004 Memoria Técnica Proyecto San Juan Potencia 2005 Memoria Técnica Proyecto México – Guadalajara 2005 Introduction to Synchronous Systems, Alcatel Bell, Código Docto. 14035, 1993,

Edición 1

Introduction to Digital Transmisión Systems, D. Callegari, Microwave Communication Division, Telettra Española S.A. Comunicaciones Digitales, TSD Alcatel México, Manual de Entrenamiento. Curso de Capacitación Universidad Alcatel; Fundamentos Teóricos PDH y SDH, Documento de Consulta.

Curso de Capacitación Universidad Alcatel – Lucent; Fundamentos de Fibra Óptica. Trabajo de Ejercicio Profesional Reestructuración y Optimización de la Red de Fibra Óptica; Ing. Andrés Gómez Anguiano

<http://www.itu.int>

<http://es.wikipedia.org/>

<http://www.cisco.com>

<http://www.abb.com.mx>

<http://www.alcatel-lucent.com/>

<http://www.siemens.com>

<http://www.C.F.E..gob.mx>

<http://www.google.com.mx/>

AGRADECIMIENTOS:

Alejandro Olivares Duran.

A mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar y por siempre darme su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, principalmente por haberme dado la vida.

A mi esposa e hijos por el apoyo brindado en la etapa culminatoria de mi carrera de estudiante y por que fueron el principal estímulo para que iniciara mi proceso de titulación .

A los profesores que a lo largo de toda mi vida como estudiante en todas y cada una de las etapas tuvieron la paciencia de compartirme su sabiduría y experiencias.

A los profesores del Seminario de Titulación por su comprensión y apoyo a lo largo del mismo.

Gracias.

Cesar Zamarripa Sánchez.

A mis padres, porque gracias a su cariño, guía y apoyo, eh llegado a realizar uno de los anhelos mas grandes de mi vida, “titularme”, y que constituye el legado mas grande que pudiera recibir y por el cual les viviré eternamente agradecido.

También agradezco a mis hermanos por su compañía y el apoyo que siempre me brindaron. Se que cuento con ellos siempre.

A dios por llenar mi vida de dicha, salud y bendiciones.

Agradezco haber encontrado el amor y poder compartir mi felicidad junto a ella.

A mis amigos por su confianza y lealtad.

Agradezco a mis maestros por su disposición y ayuda brindadas en este seminario.

Gracias.