



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

**“CONFIGURACIÓN DE UNA RED CARRIER
ETHERNET PARA SERVICIOS TRIPLE PLAY”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
P R E S E N T A :

**Pineda Chávez Artemio
Segura Maldonado Pedro Norberto**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



San Juan de Aragón, Estado de México, Junio de 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Indice	I
Objetivo	VIII
Introducción	XI
Capítulo 1 Introducción al SDH	1
1.1 Jerarquía Digital Plesiocrona (PDH)	1
1.1.1 Norma Europea (ETSI)	2
1.1.2 Multiplexaje plesiocrono	3
1.1.3 Demultiplexaje Plesiócrono	4
1.2 Ventajas y Desventajas	5
1.3 SDH Rec G. 707	6
1.4 Trayectorias	14
1.5 Apuntadores	15
1.6 Equipos y Aplicaciones.	16
1.7 Arquitectura de la red de nueva generación	18
1.8 Aplicación de una red SDH.	20
Capítulo 2 G-709 OTN (Red Óptica de Transporte)	22
2.1 Estructura de la interfaz de la red óptica de transporte	22
2.1.1 Estructura de señal básica	23
2.1.2 Subestructura de OCh	24
2.1.3 Estructuras OTM-nr.m y OTM-0.m con funcionalidad reducida	24
2.2 Estructura de información para interfaces OTN	24
2.3 Principios de multiplexación/correspondencia y velocidades binarias	27
2.3.1 Correspondencia	27
2.3.2 Multiplexación por división de longitud de onda	27
2.4 Velocidades binarias y capacidad	28
2.5 Módulo de transporte óptico (OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-0.m)	29
2.5.1 OTM con funcionalidad reducida (OTM-0.m, OTM-nr.m)	29
2.5.2 OTM-0.m	30
2.5.3 OTM-16r.m	31
2.5.4 OTM con funcionalidad completa (OTM-n.m)	32
2.6 Unidad de transporte de canal óptico (OTU)	33
2.6.1 Estructura de trama de OTUK	33
2.6.2 Aleatorización	34

2.7	Descripción de tara de alineación de trama de OTUK/ODUK	35
2.7.1	Definición de tara de alineación de trama de OTUK/ODUK	36
2.7.2	Señal de alineación de multitrama (MFAS)	36
2.8	Descripción de OTUK OH	37
2.8.1	Definición de tara de OTUK	38
Capítulo 3 Conceptos de DWDM		42
3.1	Ventajas de las comunicaciones por fibra	42
3.2	Composición de las fibras ópticas	45
3.2.1	Tipos de fibra óptica	45
3.2.2	Características de la fibra óptica	50
3.2.3	Acoplamiento	54
3.2.4	Características no lineales de las fibras óptica	55
3.3	Estructura de los cables de fibra óptica	58
3.4	Equipos de medición de fibra óptica	62
3.5	Conectores de fibra óptica	67
3.5.1	El pulido de las férulas	69
3.5.2	Tipos de conectores	70
3.6	Cálculo de un enlace de fibra óptica	71
3.7	Tipos de conectorización de la fibra óptica	72
3.8	Atenuación de la fibra óptica	76
3.9	Elementos de una Red WDM	78
Capítulo 4 Descripción y configuración de la red Carrier Ethernet		87
4.1	Tarjetas	87
4.2	Tarjeta OSCM	90
4.3	Tarjeta 32 MUX-O	94
4.4	Tarjeta 32 DMX-O	97
4.5	Anillos DWDM y tarjetas TCC2	100
4.5.1	Nodo de terminal	102
4.5.2	Nodo OADM	103
4.5.3	Nodo anti-ASE	105
4.5.4	Nodo amplificador de línea	106
4.6	Anillos con hub	107
4.6.1	Anillos con hubs múltiples	109
4.6.2	Anillos en malla	109

4.7	Configuraciones lineales	111
4.7.1	Vínculo de tramo único	112
4.7.2	Control automático de energía	113
	Conclusiones	116
	Anexo	119
	Bibliografía	128



Índice de Figuras.

	Pag.
Fig. 1.1 Jerarquías de Multiplexación	1
Fig. 1.2 Jerarquía de multiplexación norma Europea	2
Fig.1.3 Multiplexaje plesiocrono	3
Fig. 1.4 Demultiplexaje Plesiócrono	4
Fig. 1.5 equipos PDH de diversos proveedores	6
Fig. 1.6 Multiplexaje de STM-1 a STM-4	7
Fig.1.7 Diagrama a bloques de la estructura para transporte PDH en SDH	8
Fig. 1.8 Estructura de trama SDH a nivel 1	10
Fig. 1.9 Estructura de trama STM-4	12
Fig. 1.10 Estructura de trama STM-16	13
Fig. 1.11 Encabezados en SDH	13
Fig. 1.12 Encabezados en una trama STM-1	14
Fig.1.13 Elementos de una red	17
Fig. 1.14 Evolución tecnológica de la red de telecomunicaciones del principal carrier en nuestro país.	18
Fig. 1.15 Descripción de los elementos de la red de telecomunicaciones	19
Fig. 2.1 G.709/Y.1331 – Estructura de las interfaces de OTN	23
Fig. 2-2/G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-n.m	25
Fig. 2.3 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-0.m	25
Fig. 2.4 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM nr.m.	26
Fig. 2.5 G.709/Y.1331 Ejemplo de relación de flujos de información	26
Fig. 2.6 G.709/Y.1331 – Multiplexación de OTM y estructuras de correspondencia	27
Fig. 2.7 G.709/Y.1331 – Estructura de OTM-0.m	30
Fig. 2.8 G.709/Y.1331, Estructura de multiplexación OTM-16r.m	32
Fig. 2.9 G.709/Y.1331, Estructura de trama de OTUK.	33
Fig. 2.10 G.709/Y.1331, Orden de transmisión de bits de la trama OTUK	34
Fig. 2.11 G.709/Y.1331 Aleatorizador síncrono de trama.	35
Fig. 2.12G.709/Y.1331 Tara de alineación de trama de OTUK/ODUK.	35
Fig.2.13/G.709/Y.1331, Estructura de tara de señal de alineación de trama.	36
Fig. 2.14 G.709/Y.1331 – Tara de señal de alineación de multitrama	36
Fig. 2.15/G.709/Y.1331Tara de OTUK.	37
Fig. 2.16/G.709/Y.1331 –Tara de supervisión de sección de OTUK	37
Fig. 2.17/G.709/Y.13, Cálculo de BIP-8 de OTUK SM.	39
Fig. 3.1Constitución de la fibra óptica.	46

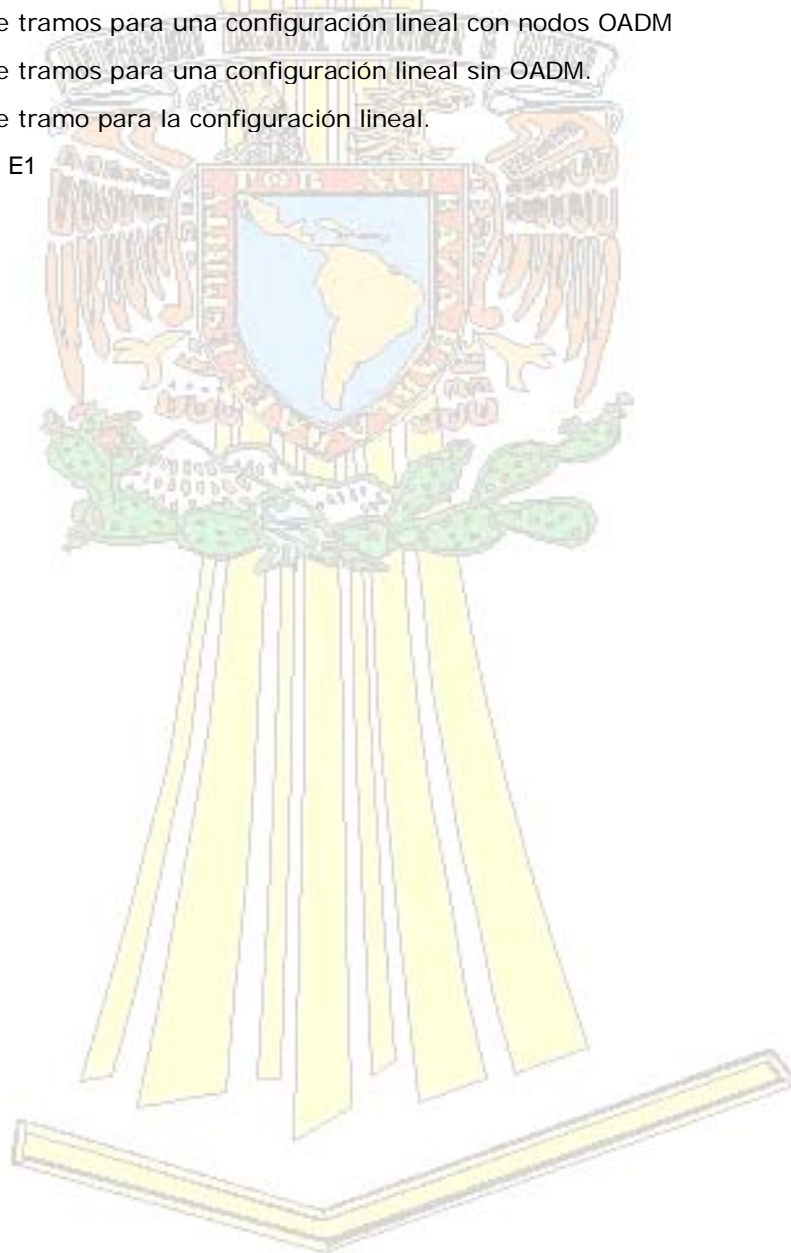
Fig. 3.2 Fibra Óptica Tipo Monomodo.	47
Fig. 3.3 Fibra Óptica tipo multimodo.	48
Fig. 3.4 Ventanas de operación de la fibra óptica.	50
Fig. 3.5 Cono de aceptación de la fibra óptica.	50
Fig. 3.6 Impurezas en fibra óptica	51
Fig. 3.7 Dispersión Rayleigh	51
Fig. 3.8 Dispersión cromática	52
Fig. 3.9 Dispersión Modal	52
Fig. 3.10 Radiación causada por pequeños dobleces e irregularidades	53
Fig. 3.11 Dispersión del modo de polarización	53
Fig. 3.12 Mala alineación lateral	54
Fig. 3.13 Mala alineación de la separación	54
Fig. 3.14 Mala alineación angular	54
Fig. 3.15 Acabado de superficie imperfecta	55
Fig. 3.16 Auto modulación en fase	57
Fig. 3.17 Modulación de Fase Cruzada (XPM)	58
Fig. 3.18 Efectos de la luz en el Esparcimiento de Rayleigh	62
Fig. 3.19 Grafica de atenuación vs. Longitud de onda del Esparcimiento Rayleigh	63
Fig. 3.20 Reflexión de fresnel	63
Fig. 3.21 diagrama a bloques de un otdr	64
Fig. 3.22 Rango dinámico de un OTDR.	65
Fig. 3.23 Grafica de zona muerta.	65
Fig. 3.24 Diodo Led	74
Fig. 3.25 Corriente de umbral	75
Fig. 3.26 Elemento de una red DWDM	79
Fig. 3.27 Sistema DWDM	81
Fig. 3.28 Espectros de potencia de transmisores	83
Fig. 3.29 Repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda.	85
Fig. 3.30 ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).	86
Fig. 4.1 Configuración de tarjeta en el equipo Cisco14454 para enlaces de Carrier ethernet	87
Fig. 4.2 Placa frontal de la OSCM	90
Fig. 4.3 Diagrama de bloques de la OSCM	91
Fig. 4.4 Placa frontal de la 32 MUX-O	94
Fig. 4.5 Diagrama de bloques de la 32 Mux-O	95
Fig. 4.6 Diagrama de la función óptica de la 32 Mux-O	95

Fig. 4.7 placa frontal de la tarjeta 32 DMX-O	97
Fig. 4.8 Diagrama a bloques de la 32 DMX-O	98
Fig. 4.9 Diagrama de la función óptica de la 32 DMX-O	98
Fig. 4.10Ejemplo de configuración del nodo Hub	101
Fig. 4.11 Ejemplo de flujo de canal del nodo Hu	102
Fig. 4.12 Ejemplo de configuración de un nodo de terminal	102
Fig.4.13 Ejemplo de configuración de un nodo OADM amplificado	103
Fig. 4.14 Ejemplo de configuración de un nodo OADM pasivo	104
Fig. 4.15 Ejemplo de flujo de canal del nodo OADM amplificado	104
Fig. 4.16 Ejemplo de flujo de canal del nodo OADM pasivo	105
Fig. 4.17 Ejemplo de flujo de canal del nodo anti-ASE	106
Fig. 4.18 Ejemplo de configuración de un nodo de línea	107
Fig. 4.19 topología de anillos con hub	108
Fig. 4.20 anillo con hub múltiple	109
Fig. 4.21 anillos en malla	110
Fig. 4.22Configuración lineal con un nodo OADM	111
Fig.4.23 Configuración lineal, sin ningún nodo OADM	112
Fig. 4.24 Vínculo de tramo único	113
Fig. A1 Teorema de Nyquist	120
Fig. A.2 Ley A.	121
Fig. A.3 Sistemas de Transmisión PCM	125
Fig. A4 Tramas de la señal PCM.	125
Fig. A5 Los TS en la multitrama.	127

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Velocidades de Jerarquía PDH (Europea)	3
Tabla 1.2 Velocidades de SONET vs SDH.	7
Tabla 2.1 G.709/Y.1331 Tipos y capacidad de OTU	28
Tabla 2.2 G.709/Y.1331. Tipos y capacidad de ODU	28
Tabla 2.3 G.709/Y.1331,Tipos y capacidad de OPU	29
Tabla 2.4 G.709/Y.1331 – Periodos de trama de OTUK/ODUK/OPUK	29
Tabla 2.5/G.709/Y.1331 Interpretación de BEI/BIAE de OTUK SM	40
Tabla 3.1 Ventanas de operación de la fibra óptica.	45
Tabla 3.2 Opciones de utilización de las fibras ópticas a 1550 nm	56

Tabla 4.1 enumera las tarjetas DWDM del Cisco ONS 15454 SDH.	89
Tabla 4.2 enumera los requerimientos de energía para las tarjetas individuales.	89
Tabla 4.3 Indicadores en el ámbito de tarjetas OSCM	92
Tabla 4.4 Indicadores en el ámbito de la tarjeta 32 Mux-O	96
Tabla 4.5 Especificaciones de la tarjeta 32 MUX-O	96
Tabla 4.6 Indicadores en el ámbito de la tarjeta 32 DMX-O	99
Tabla 4.7 Especificaciones ópticas de la 32 DMX-O	99
Tabla 4.8 Anillos ONS 14454 SDH con tarjetas TCC2 redundantes.	100
Tabla 4.9 Pérdida de tramo para un anillo con HUB	108
Tabla 4.10 Pérdida de tramos para una configuración lineal con nodos OADM	111
Tabla 4.11 Pérdida de tramos para una configuración lineal sin OADM.	112
Tabla 4.12 Pérdida de tramo para la configuración lineal.	113
Tabla A1, Cálculo de un E1	126



Objetivo

Describir la configuración de una red carrier ethernet, sus principales características en la integración de servicios triple play (datos, voz y video), que convergen en redes ópticas que proveen la capacidad escalable requerida para la creciente demanda de usuarios residenciales y de negocios de acuerdo a normas internacionales¹



¹ **G- 709**, SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES, Equipos terminales digitales – Generalidades SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO, INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN, Aspectos del protocolo Internet – Transporte

Introducción

En la década de los 90's, la tecnología Multiplexación por división en longitudes de onda densas DWDM (Dense wavelength Division Multiplexing), revolucionó el sector de las telecomunicaciones gracias al espectacular aumento de la capacidad de las redes. Sin embargo, el principal problema de las redes es que su ancho de banda es fijo, es decir, la conectividad está predefinida en el momento de su instalación y cualquier cambio posterior resulta complicado y costoso. Por otro lado, servicios como la TV IP o el vídeo bajo demanda requieren un ancho de banda impredecible a priori y que necesita ser configurado en función de la demanda del usuario. Evidentemente, la solución no consiste en añadir capacidad extra, sino que los operadores deben ser capaces de reconfigurar sus redes DWDM de una forma ágil y transparente para proporcionar un mayor ancho de banda en aquellas zonas donde se requiera de forma puntual

Pese a que la existencia de infraestructuras de red basadas en fibra óptica no es hoy en día ninguna novedad, lo cierto es que en general las soluciones que se plantean para el transporte de datos sobre dichas infraestructuras vienen derivadas de arquitecturas de protocolos sustentadas normalmente por Jerarquía Digital Síncrona (SDH) (Synchronous Digital Hierarchy).

La creciente demanda por los usuarios para tener acceso a la Internet y el aumento del tráfico de datos para los diferentes servicios que requieren, han provocado que las redes de transporte de los proveedores de servicios de internet (ISP), evolucionen o migren hacia otras tecnologías para satisfacer esta demanda de servicios.

Se han modificado las redes existentes de TDM (Multiplexación por División de Tiempo) con tecnología SDH para tener los servicios de tráfico de Ethernet (10 Mbps) y de Fast Ethernet (100 Mbps), a lo que se le ha denominado Ethernet sobre SDH (EoS: Ethernet over SDH). Lo cual no implica grandes inversiones ya

que se utiliza la infraestructura existente y la utilización de la concatenación virtual para poder tener una granularidad de los servicios.

Lo cual es una buena solución para las redes locales y metropolitanas, pero para dar servicio a las redes dorsales (Back Bone) o nacionales, donde el tráfico de datos son muy superiores es necesario buscar nuevas alternativas para solucionar y evitar pérdidas de información debido a saturación de las redes, provocando por ende un malestar de los usuarios del mismo.

La solución es Gigabit Ethernet como se utiliza en redes LAN, las cuales emplean las redes de fibra óptica en lugar de las redes de cobre tradicionales, pero las redes SDH basadas en la rec G.707, ya no pueden transportar aun con la concatenación virtual más ancho de banda de los servicios de datos.

Por lo cual es necesario modificar esta concatenación virtual por el uso de un nuevo esquema, este se definió por la recomendación UIT G709 (OTN Optical Telecommunication Network), y el uso de la tecnología DWDM, lo cual nos garantiza un ancho de banda de acuerdo a las necesidades de cada cliente y tener una red de transporte para soporta servicios nuevos como el video o el llamado triple Play, pero sobre todo utilizar la infraestructura que ya se tiene instalada.

En presente trabajo de tesis se encuentra organizado en:

Capítulo 1. Se describe la Jerarquía Digital Sincrona, así como las velocidades de operación de esta tecnología, enumerando las ventajas y sus desventajas.

Capítulo 2. Se hace un resumen de los apartados de la norma g.709 (Interfaces para la red óptica de transporte), que se necesitan para la configuración que utilizan los diferentes carriers en la formación de una trayectoria óptica.

Capítulo 3. Se hace una descripción general de la tecnología de fibra óptica por medio de la Multiplexación por División de Onda Densa, (DWDM), así como sus características de enlace y transporte de datos.

Capítulo 4. Descripción y configuración de la red Carrier Ethernet, que propiamente es cómo se hace el enlace utilizando la norma g-709 y el equipo 14454 de cisco.



Capítulo 1

Introducción al SDH

1.1 Jerarquía Digital Plesiocrona (PDH)

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

En los comienzos de los años 60 expertos en transmisión estuvieron trabajando en el PCM (Modulación por Pulsos Codificados) 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.

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 el formato E1 y en E.U.A. $24 \times 64 \text{ Kbps} = 1.544 \text{ Mbps}$ ó T1.

Con la llegada del Multiplexaje se crearon sistemas en donde se tomaban cierto número de señales T1 o E1 y todas se juntaban en una sola. Este proceso genera una sola cadena tributaria y poniéndose en una cadena de más alto orden y a estos órdenes se les llamó Jerarquías de Multiplexación. (Fig. 1.1)

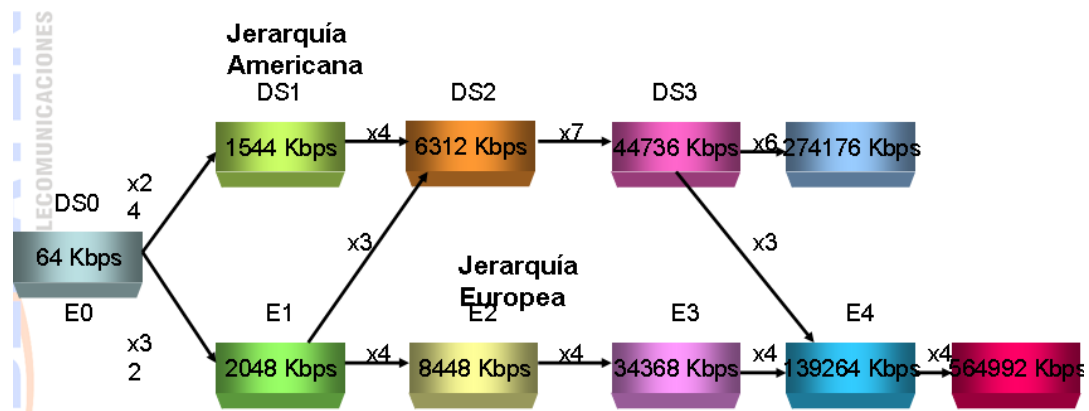


Fig. 1.1 Jerarquías de Multiplexación.

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

- Norma americana (ANSI).
- Norma europea (ETSI).

Todas las jerarquías parten de una velocidad a nivel de canal de 64 Kbps sobre la que se estructuran los niveles jerárquicos en cualquier sistema.

1.1.1 Norma Europea (ETSI)

En la jerarquía de multiplexación norma europea, en cada nivel jerárquico se agrupan respectivamente 4 señales digitales de orden jerárquico inferior en un tren de pulsos de orden superior.

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

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 en método PDH.

A esto se debe el nombre de Plesio (casi) cron (sincrona).

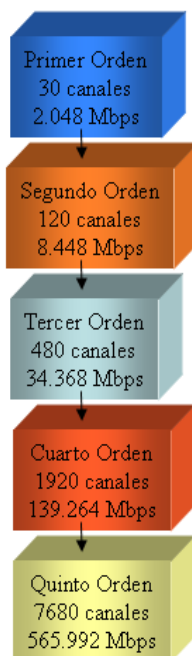


Fig. 1.2 Jerarquía de multiplexación norma Europea.

Los niveles jerárquicos de velocidades PDH que se utilizan en México son:

Tabla 1. Velocidades de Jerarquía PDH (Europea)

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	565,992 Mbps	7680

1.1.2 Multiplexaje plesiocrono

En cada nivel.

- Palabra se inserción para alineamiento de trama.
- Adición de bits de justificación y relleno (stuffing).
- Adición de señales de servicio.

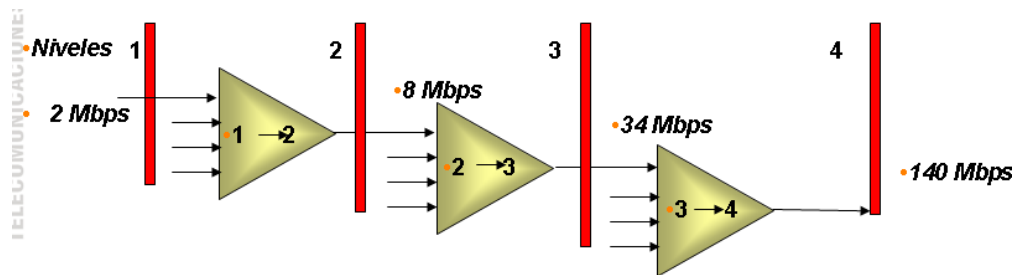


Fig.1.3 Multiplexaje plesiocrono

En el Multiplexaje Plesiócrono en cada nivel se insertan (Fig.1.3):

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

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 cuáles debe descartar.

Este método se denomina *Justificación* y es la base de todos los sistemas de transmisión digital actuales.

1.1.3 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.

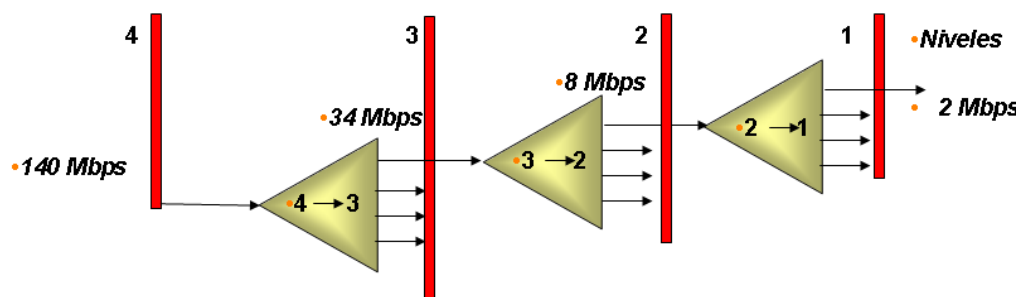


Fig. 1.4 Demultiplexaje Plesiócrono

En cada nivel:

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



1.2 Ventajas y Desventajas

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

Es decir, con PDH no se puede disgregar o separar 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 del orden deseado.

Por lo que es posible mencionar que existen como ese, problemas con la Plesiocronía tales como:

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

Entre las ventajas que se tienen en estos sistemas es que el equipo es relativamente barato pues no requiere inteligencia para el procesamiento de señales.

La planta instalada muy grande, en uso y aún creciendo, además de que es fácil de instalar y adaptable a la planta de cobre externa existente.

Dentro de la red telefónica de Telmex se tiene una gran variedad de equipos PDH de diversos proveedores (Fig. 1.5) y varios tipos y versiones dentro del mismo Proveedor:



PROVEEDOR	FAMILIA DE EQUIPOS
Alcatel	Equipo PDH <i>Tipo T-80</i>
	Equipo PDH <i>Tipo T-90 (1631FL)</i>
	Equipo PDH <i>1521FL</i>
	Equipo PDH <i>1531FL</i>
Ericsson	Equipo PDH <i>Tipo B y B</i>
	Equipo PDH <i>Tipo s-7000</i>
DSC	Equipo PDH <i>CP 600/800</i>
	Equipo PDH <i>CP 3000/4000</i>
NEC	Equipo PDH <i>Serie 5000</i>
	Equipo PDH <i>Serie 6000</i>
Philips	Equipo PDH <i>Tipo Slim Line</i>
	Equipo PDH <i>Tipo PLE</i>
AT&T	Equipo PDH <i>AT&T 565</i>
Northern Telecom	Equipo PDH <i>Versión Modular</i>

Fig.1.5 equipos PDH de diversos proveedores.

1.3 SDH Rec G.707

En 1988, la UIT.T (Unión Internacional de Telecomunicaciones y Telegrafía), basado en la primera parte de la norma SONET (Synchronous Optical Network, Red Óptica Sincrona) elaboró la llamada SDH (Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Sincrónica).

La primera jerarquía de velocidad sincrónica fue definida como STM-1 (Synchronous Transport Module, Módulo de Transporte Sincrónico) de 155.520 Mbps. Este valor coincide con el triple de OC-1 de la red SONET ($3 \times 51.84 \text{ Mb/s} = 155.52 \text{ Mbps}$).

Los siguientes niveles se obtienen como $N \times \text{STM-1}$, habiendo definido el UIT el $4 \times \text{STM-1} = 622.08 \text{ Mb/s}$ y $16 \times \text{STM-1} = 2488.32 \text{ Mb/s}$ (aproximadamente 2.5 Gbps).

Tabla 2.- Velocidades de SONET vs SDH.

SONET	VELOCIDAD (Mbps)	STM-n	Capacidad E1's
OC-1	51.840		
OC-3	155.520	STM-1	63
OC-9	466.660		
OC-12	622.080	STM-4	252
OC-18	933.120		
OC-24	1244.160		
OC-36	1866.240		
OC-48	2488.320	STM-16	1008
OC-192	9953.280	STM-64	4032

Multiplexaje. Como toda tecnología de transporte, SDH se encarga de llevar el máximo de información de un punto a otro punto, lo que indica una concentración de la información en los extremos. Para lograr esta concentración de varios afluentes de entrada en un mayor afluente de salida se utiliza la multiplexación.

Las jerarquías, son agrupamientos de varias señales de nivel inferior, en una señal de jerarquía superior, en SDH se multiplexan byte por byte varias señales de orden inferior para conseguir una señal del siguiente orden jerárquico, por ejemplo 4 señales STM-1 multiplexadas forman una señal STM-4 como se observa en la Fig. 1.6 Para encontrar una correspondencia de velocidades basta con multiplicar en forma directa la velocidad de un STM-1 por 4 para encontrar la velocidad de unSTM-4 y así respectivamente para cada orden.

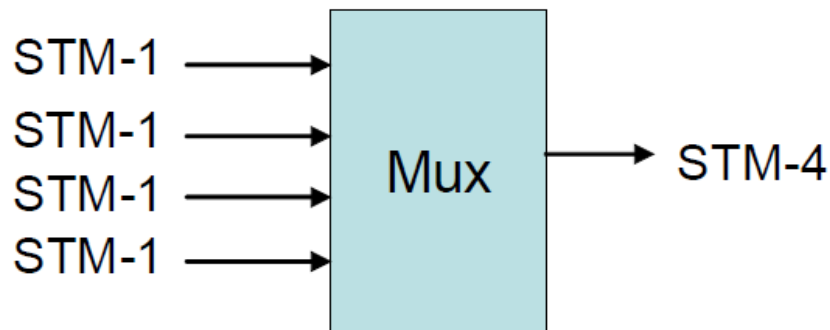


Fig. 1.6 Multiplexaje de STM-1 a STM-4.



Para los sistemas SDH el proceso de multiplexaje se llama mapeo. El mapeo es el proceso por el cual se acomodan las señales que van a ser transportadas por **SDH** dentro de los contenedores del mismo.

En este proceso se realizan varias acciones dependiendo del tipo de señal a transportar, las acciones a realizar son las siguientes:

- Justificación (inserción de relleno)
- Stuffing (prevención de confusión de señales de supervisión)
- Encapsulamiento o Entramado
- Alineamiento y Delineamiento de Trama
- Buffering (almacenamiento)

En la Fig. 1.7 se presenta un diagrama a bloques de la estructura para el transporte de señales **PDH** sobre **SDH**.

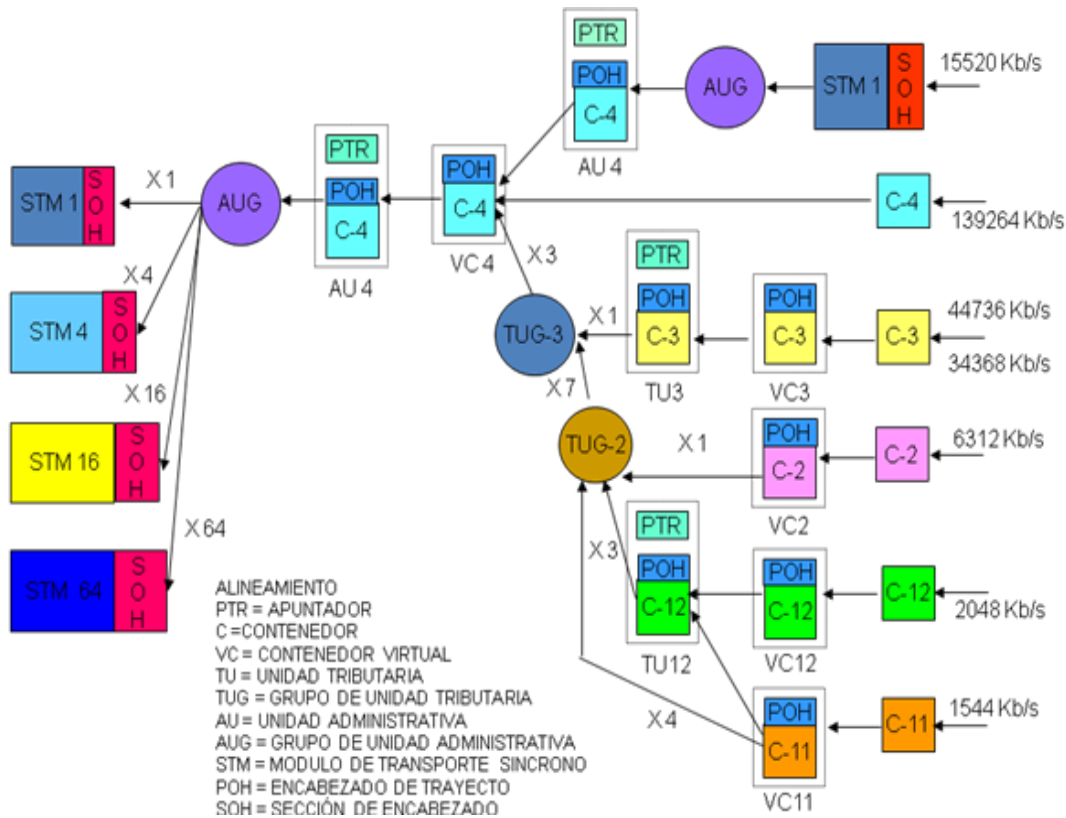


Fig.1.7 Diagrama a bloques de la estructura para transporte PDH en SDH.



A continuación describimos cada una de las estructuras que forman la multiplexación de la trama STM-1 de SDH:

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 los flujos 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 establecer 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).

Unidad Tributaria (TU-n): Aquí se agregan los apuntadores 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 a 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.

En la Fig. 1.8, se observa la estructura de la trama de una señal SDH de nivel 1.

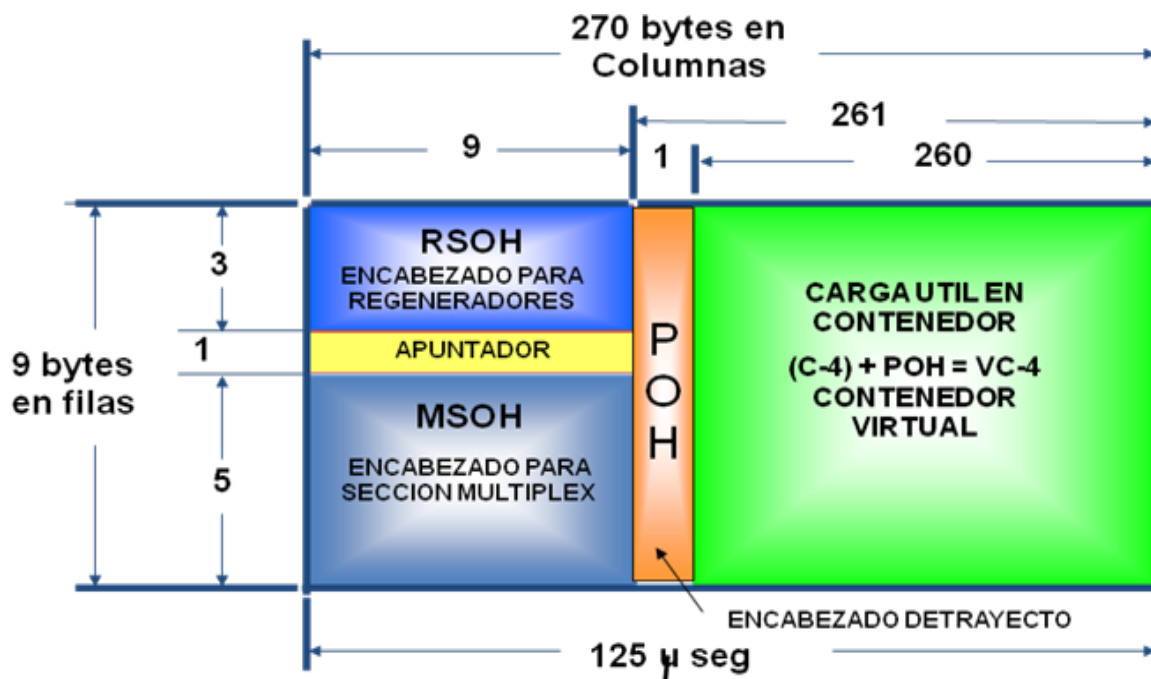


Fig. 1.8 Estructura de trama SDH a nivel 1.

En 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 la sección de regeneradores **RSOH** (9 columnas x 3 filas= 27bytes) y el encabezado de la sección múltiplex **MSOH** (9columnas x 5 filas= 45 bytes).
- **La Sección de Apuntadores** de $9 \times 1 = 9$ bytes en fila 4.
- **Sección de Encabezados de Trayecto POH** la cual está en la columna 10 y es de 9 bytes.
- **Sección de Carga Útil (Contenedor)** la cual es de (260columnas 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 los multiplicamos por 8 bit y después por 8000 Hz obtenemos la velocidad de transmisión del STM-1:

$2430 \text{ bytes} \times 8 \text{ bit} \times 8000 \text{ muestras/s} = 155.520 \text{ Mbps}$.

Existen dos métodos de multiplexación para formar un STM-n (1, 4, 16, 64): los cuales son:

Multiplexar 'n' STM-1's, multiplexando byte a byte.

Multiplexar AU-4's 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.



Hay que darse cuenta que, algunos bytes, por ejemplo, los del byte B1 solamente aparecen una sola vez. En este caso, solamente se utiliza el byte del primer STM-1, o sea, los bytes similares de los otros STM-1s no se utilizan. En otros casos, como en los bytes de trama A1 y A2 todos los bytes se utilizan.

En las recomendaciones, los bytes del encabezado de sección están referidos a una indicación por coordenadas de 3 dígitos: S(a, b, c), esto indica la posición de byte en el encabezado de sección (SOH) del STM-n, donde:

Es el número de fila (de 1 a 3 y de 5 a 9) en el SOH del STM-n.

Es el número de multicolumna (1-9) en el SOH del STM-n.) Identifica uno de los bytes en la multicolumna seleccionada.

En la Fig. 1.9, se observa la estructura de trama de los encabezados de un STM-4, donde observamos que algunos bytes se mantienen constantes (B1, K1 y K2) y otros son repetitivos para formar el encabezado (A1, A2, B2).

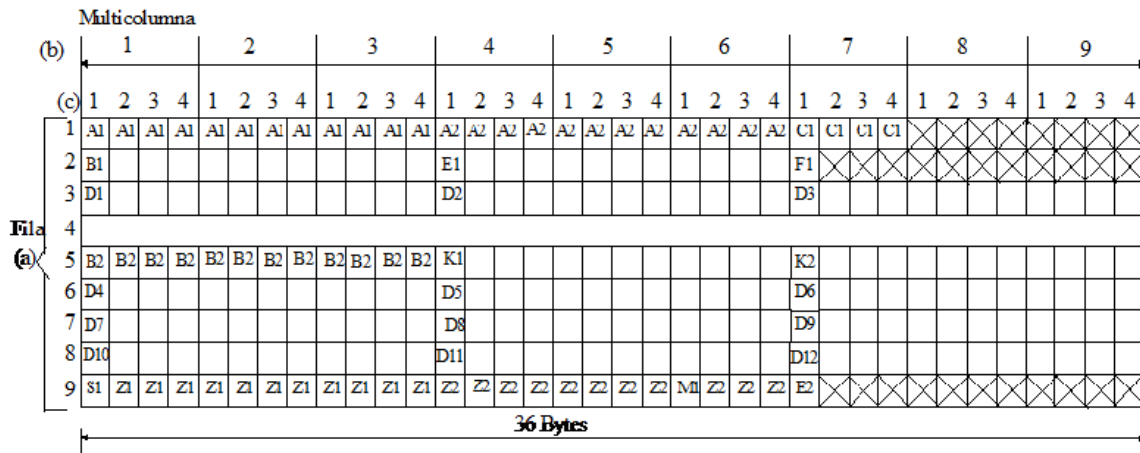


Fig. 1.9 Estructura de trama STM-4.

En la Fig. 1.10, se observa la estructura de trama de los encabezados de un STM-16, donde observamos que algunos bytes se mantienen constantes (B1, K1 y K2) y otros son repetitivos para formar el encabezado (A1, A2, B2).

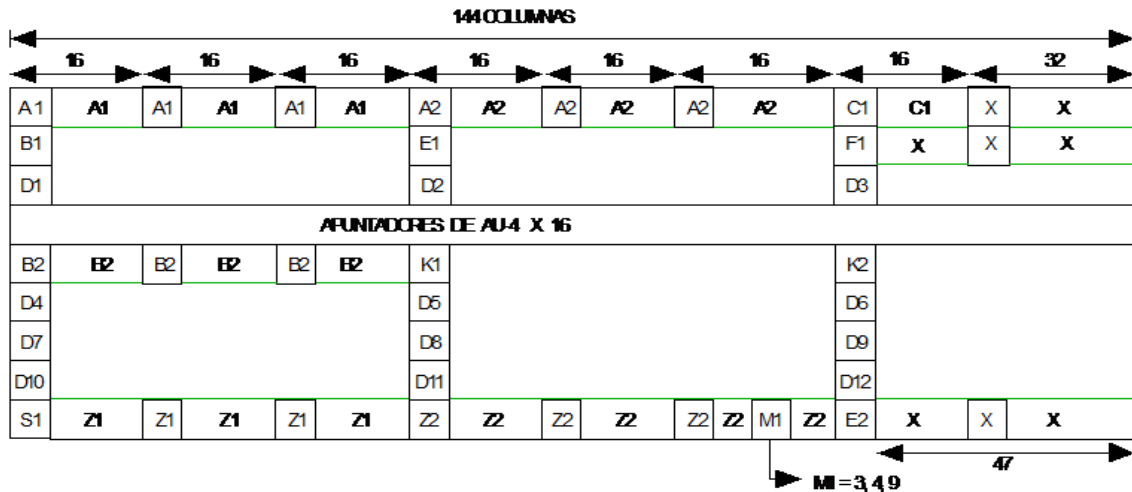


Fig. 1.10 Estructura de trama STM-16.

Los Encabezados forman parte importante en las labores de supervisión y mantenimiento de los sistemas y 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, como se observa en la Fig.1.11

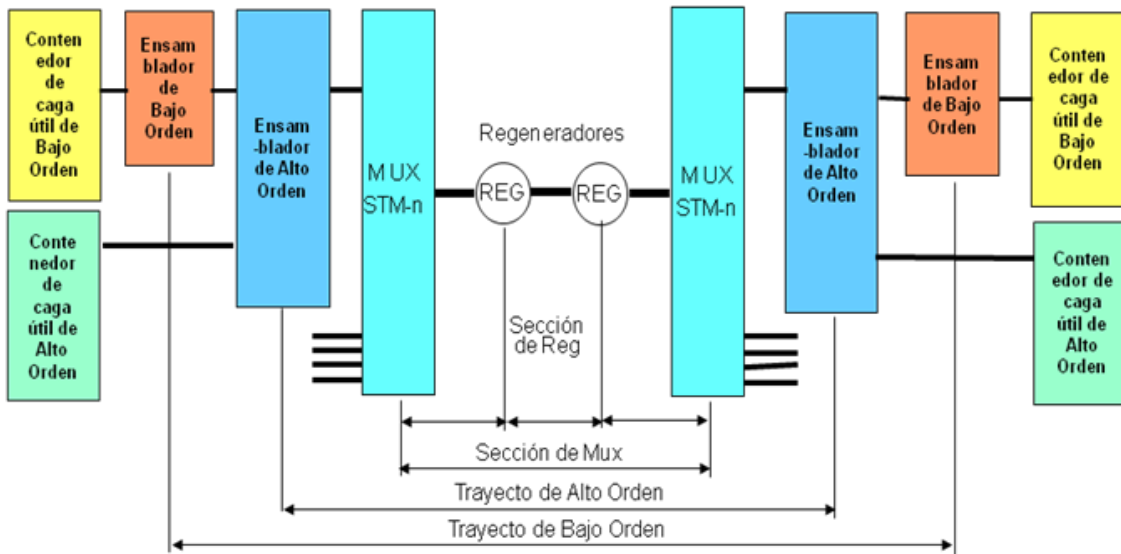


Fig. 1.11 Encabezados en SDH.

1.4 Trayectorias

Por su nivel los ubicamos en:

- Nivel de Sección de Regeneradores (RSOH MSOH).
- Nivel de Trayecto de Alto Orden (POH de VC-4).
- Nivel de Trayecto de Bajo Orden (V5 de VC-3, VC-12).

Encabezado de Sección de Regeneradores (RSOH) de 3 filas por 9 Bytes para trayectoria de alto orden de Punta a Punta (HLP: High Level Path).

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

Los encabezados también son importantes en la gestión de redes SDH, esto es porque 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 del STM-1, en la Fig. 1.12, se observan cómo están formados los encabezados de una trama STM-1.

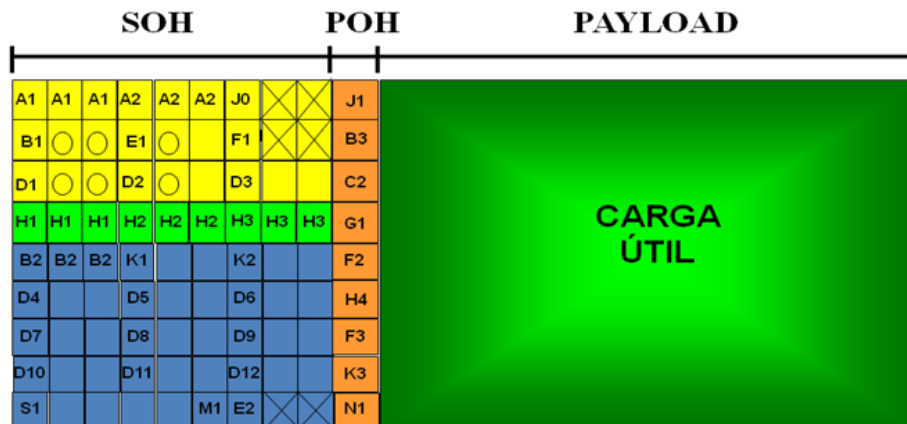


Fig. 1.12 Encabezados en una trama STM-1.



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.

1.5 Apuntadores

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.
- Apuntador AU-4

Los bytes que componen a los apuntadores AU-4 son:

Bytes H1 y H2: Estos dos bytes, son los apuntadores de la carga útil, para especificar la localización de los VC's dentro de trama, también se emplean para alinear los VC's y el SOH de una trama STM-1 en una trama STM-n, haciendo el proceso de justificación y la concatenación.



Byte H3: 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 negativa".

Apuntador de Trayectoria (POH): Este Apuntador de Trayectoria también se les conoce como Encabezados de Trayectoria de Mas Alto Orden.

El Apuntador de Trayectoria nos sirve para la supervisión y el mantenimiento de las trayectorias de alto orden.

Este Apuntador de Trayectoria también se les conoce como Encabezados de Trayectoria de Mas Alto Orden. El Apuntador de Trayectoria nos sirve para la supervisión y el mantenimiento de las trayectorias de alto orden

1.6 Equipos y Aplicaciones

Para Jerarquía Digital Síncrona podemos distinguir 4 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 da una breve descripción de cada uno de ellos (Fig. 1.13):

Multiplexor Síncrono (MUX)

Conocidos como MUX. Los multiplexores realizan la función de interfaz de las señales PDH con las señales SDH y multiplexan 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 lo conectemos y equipemos, obtendremos distintas configuraciones.

Enrutador digital (SDXC)

Conocido como Synchronous Digital Cross Connect o Enrutador Digital Síncrono, es un dispositivo que permite el 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.

Multiplexor para insertar/obtener (ADM)

Conocido como ADM o Add/Drop Multiplexer, el ADM permite agregar y 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.

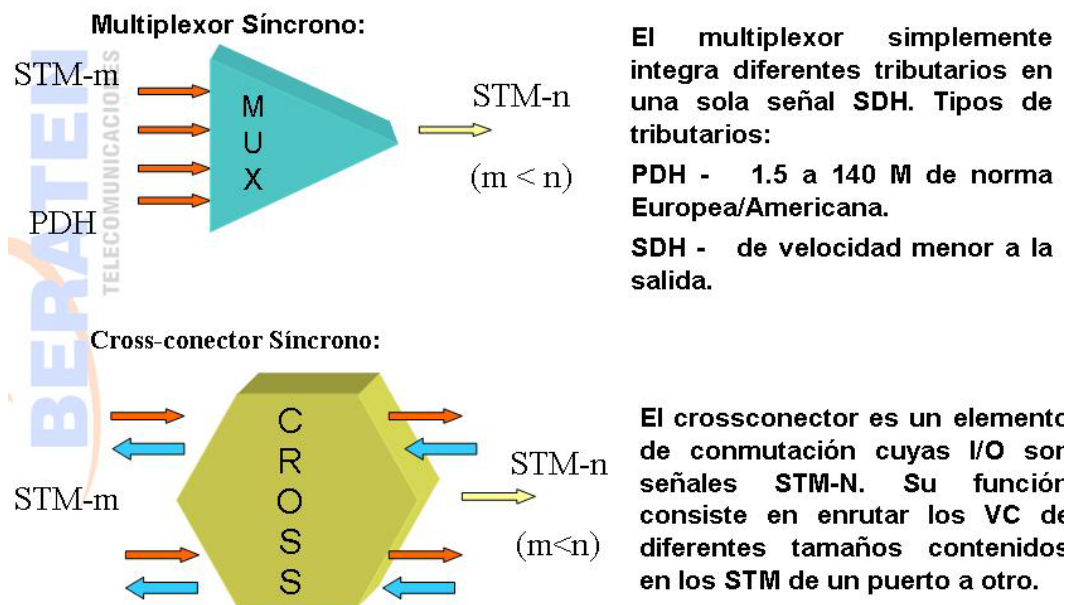


Fig.1.13 Elementos de una red.

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

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.

1.7 Arquitectura de la red de nueva generación

Las soluciones convergentes consisten en ofrecer al cliente una serie de servicios a través de un solo medio; Telefonía local y L.D., Internet de banda ancha, T.V. de paga, y Telefonía Móvil. La Voz sobre IP ha acelerado esta convergencia por lo que el escenario de la competencia está cambiando y permite que otras empresas participen del mercado en el que Telmex era proveedor exclusivo.

En el juego del mercado de las telecomunicaciones los proveedores de Voz sobre IP se alían para enfrentar las ventajas competitivas de Telmex. Con este propósito empresas especializadas en Voz sobre IP, en video (Cableras) y en transporte (carriers), se alían para ofrecer servicios de convergencia. Por si esto fuera poco realizan acuerdos con proveedores tecnológicos (de equipos) para lograr bajos costos en infraestructura.

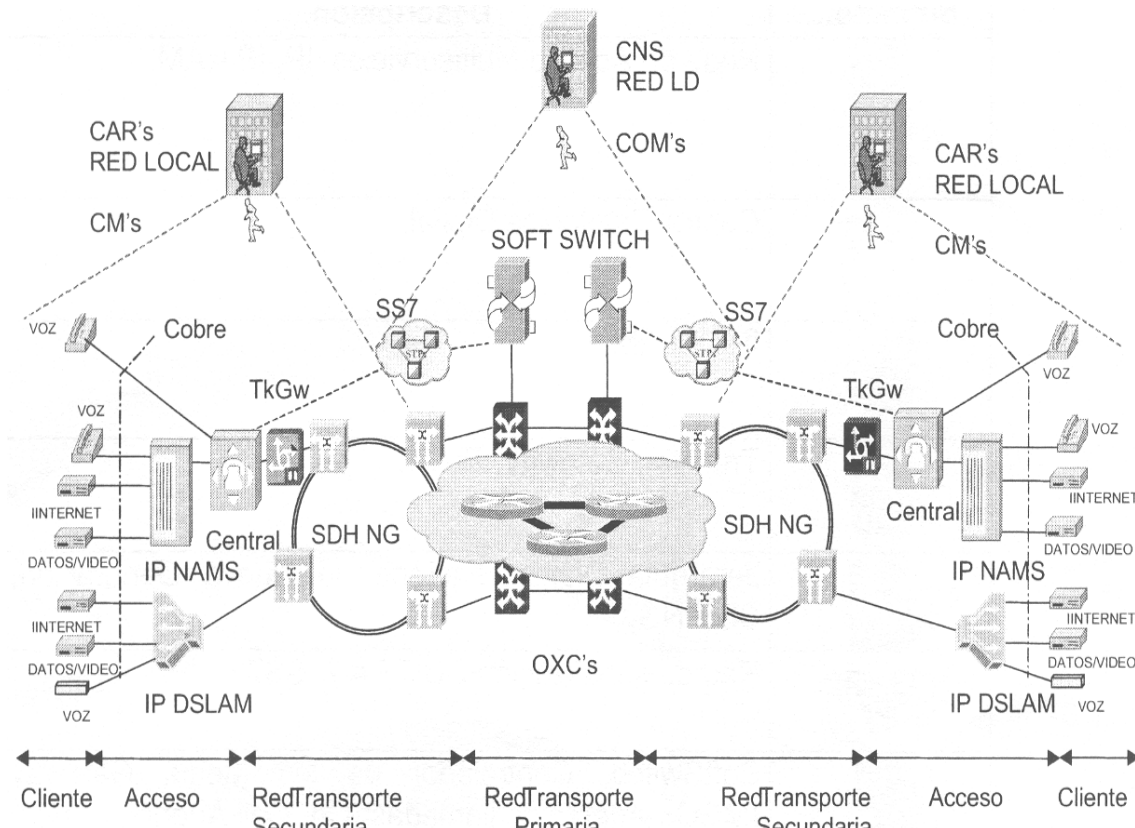


Fig. 1.14 Evolución tecnológica de la red de telecomunicaciones del principal carrier en nuestro país.

A continuación se describen los símbolos mostrados en la figura 1.14.












Símbolo...	Descripción...
	Nodo de Acceso Multiservicios IP, IP NAM.
	Central Telefónica Digital.
	IP DSLAM.
	Trunking Gateway, TkGw.
	Jerarquía Digital Sincrona de Nueva Generación, SDH NG.
	Red de señalización CCITT # 7, SS7.
	SoftSwitch, Controlador de los Media Gateway (MGC), Agente de Llamadas (CA, Call Agent).
	Enrutadores.
	Cross Conector Óptico, OXC's.
	Centro de Administración de la Red, CAR.
	Centro Nacional de Supervisión, CNS.

Fig. 1.15 Descripción de los elementos de la red de telecomunicaciones

- a) En la parte de conmutación local las centrales de conmutación de circuitos se sustituyen por centrales de acceso de tecnología IP, denominadas "Access Gateway", pero sin inteligencia de enrutamiento. En la red de acceso las URL's desaparecen y son sustituidas en su totalidad por los nodos NAMS, los cuales evolucionan a IP NAMS, ya que las interfaces V5.2 que las conectaban con las centrales, se sustituyen por interfaces IP que los interconectan con los "Access Gateway".
- b) En los servicios de acceso a Internet de alta velocidad los multiplexores de acceso con tecnología ADSL, conocidos por el genérico de DSLAM evolucionan a IP DSLAM



- c) La comunicación entre los diversos nodos de conmutación integra nuevos protocolos de señalización como SIP, H.248 (MEGACO), y H.323. La señalización SS7-ISUP permanece.
- d) La red de transporte local evoluciona al utilizar anillos de ADM's de tecnología SDH NG (New Generation), la cual incorpora los algoritmos de enrutamiento de las redes de datos, tales como OSPF (*Open Shortest Path First*, Protocolo abierto de selección de la trayectoria más corta primero); además es capaz de ofrecer interfaces Ethernet, que funcionan con un switch de datos, pudiendo recibir tráfico IP directamente de los clientes.
- e) La columna vertebral o backbone de transporte de alta capacidad para la red de larga distancia, con anillos de ADM's DWDM, así como crosconectores ópticos OXC (Optical Cross Connect).
- f) Los centros de administración y control para las redes de transporte y conmutación, tales como los CAR (Centro de Atención a la Red) para la parte local y el CNS (Centro Nacional de Supervisión) para las redes de conmutación y transporte de larga distancia evolucionan para poder administrar las nuevas plataformas tecnológicas, mediante gestores que agrupen tecnologías y fabricantes diversos.
- g) Los centros de mantenimiento que atenderán los daños en campo son: CM's (Centros de Mantenimiento) para la red local y COM's (Centros de Operación y Mantenimiento) para la red de larga distancia.

1.8 Aplicación de una red SDH

Existen varias topologías de redes analizaremos primero las redes PDH:

- Son de las primeras configuraciones disponibles y por lo tanto la más instalada.
- 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 más cara.
- Requiere de DXC, disponibles con ciertas limitaciones.
- Requiere del entendimiento entre nodos: Ya es una red¹.

¹ SDH NGN, <http://beraten.com.mx/>.

Capítulo 2

G-709 OTN (Red Óptica de Transporte)

Interfaces para la red óptica de transporte. Esta Recomendación define los requisitos del módulo de transporte óptico de orden n (OTM-n, *optical transport module of order n*), atendiendo a:

- jerarquía de transporte óptica (OTH, *optical transport hierarchy*).
- funcionalidad de la tara para el soporte de redes ópticas de múltiples longitudes de onda.
- estructuras de trama.
- velocidades binarias.
- formatos de correspondencia de señales de cliente.

La recomendación UIT-T G.709/y.1331 fue aprobada el 16 de marzo de 2003 por la comisión de estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la recomendación UIT-T a.8. Este texto incluye la enmienda 1 a la rec. UIT-T g.709/y.1331 (2003) aprobada el 14 de diciembre de 2003.

Nota.- En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

2.1 Estructura de la interfaz de la red óptica de transporte

La red óptica de transporte especificada en la Rec. UIT-T G.872 define dos clases de interfaz:

- Interfaz interdominios (IrDI);
- Interfaz intradominio (IaDI).

Las interfaces IrDI de OTN se definen con procesamiento 3R en cada extremo de la interfaz.

El módulo de transporte óptico n (OTM-n) es la estructura de información utilizada para soportar las interfaces OTN. Se definen dos estructuras OTM-n:

- interfaces OTM con funcionalidad completa (OTM-n.m);
- interfaces OTM con funcionalidad reducida (OTM-0.m, OTM-nr.m).
- Las interfaces OTM con funcionalidad reducida se definen con procesamiento 3R (Reamplificación, reconfiguración y retiming) en cada extremo de la interfaz, a fin de soportar la clase de interfaz OTN IrDI.

2.1.1 Estructura de señal básica

La estructura básica se muestra en la figura 2.1

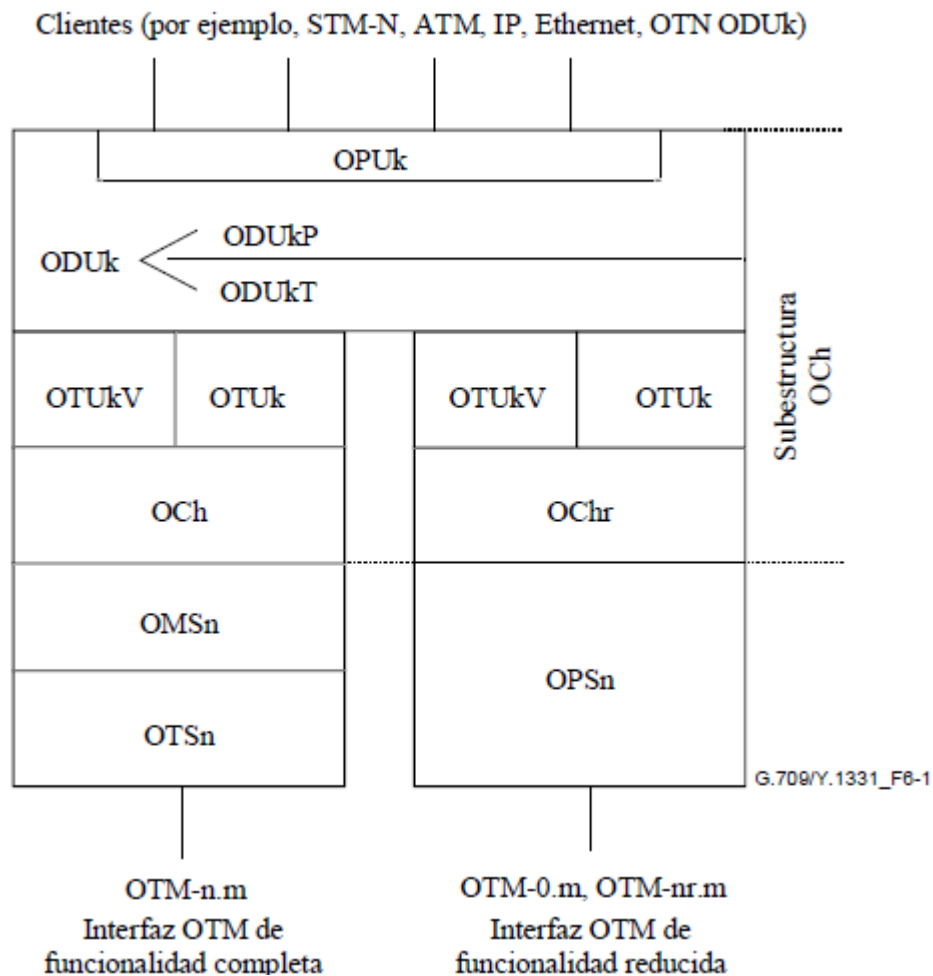


Fig. 2.1 G.709/Y.1331 – Estructura de las interfaces de OTN.

2.1.2 Subestructura de OCh

La capa de canal óptica definida en la Rec. UIT-T G.872 está estructurada además en redes de capas a fin de soportar la gestión de red y las funcionalidades de supervisión definidas en la

Rec. UIT-T G.872:

- El canal óptico con funcionalidad completa (OCh) o reducida (OChr), que proporciona conexiones de red transparentes entre puntos de regeneración 3R de la OTN.
- La unidad de transporte de canal óptico completa o funcionalmente normalizado (OTUk/OTUkV), que proporciona la supervisión y acondiciona la señal para su transporte entre puntos de regeneración 3R de la OTN.

La unidad de datos de canal óptico (ODUk) que proporciona:

- supervisión de conexión en cascada (ODUKT);
- supervisión de trayecto de extremo a extremo (ODUKP); y
- adaptación de señales de cliente por intermedio de la unidad de cabida útil de canal óptico (OPUk).

2.1.3 Estructuras OTM-nr.m y OTM-0.m con funcionalidad reducida

El OTM-nr.m y el OTM-0.m constan de las siguientes capas:

- Sección física óptica (OPSn);
- Canal óptico con funcionalidad reducida (OChr);
- Unidad de transporte de canal óptico completa o funcionalmente normalizada (OTUk/OTUkV);
- unidad de datos de canal óptico (ODUk).

2.2 Estructura de información para interfaces OTN

La estructura de información para interfaces OTN es representada por las relaciones de contenimiento y flujos de información. Las principales relaciones de contenimiento de información se describen en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4. Los flujos de información se muestran en la figura 2-5.

Con propósitos de supervisión en la OTN, se termina la señal OTUk/OTUkV cuando se termina la señal OCh.

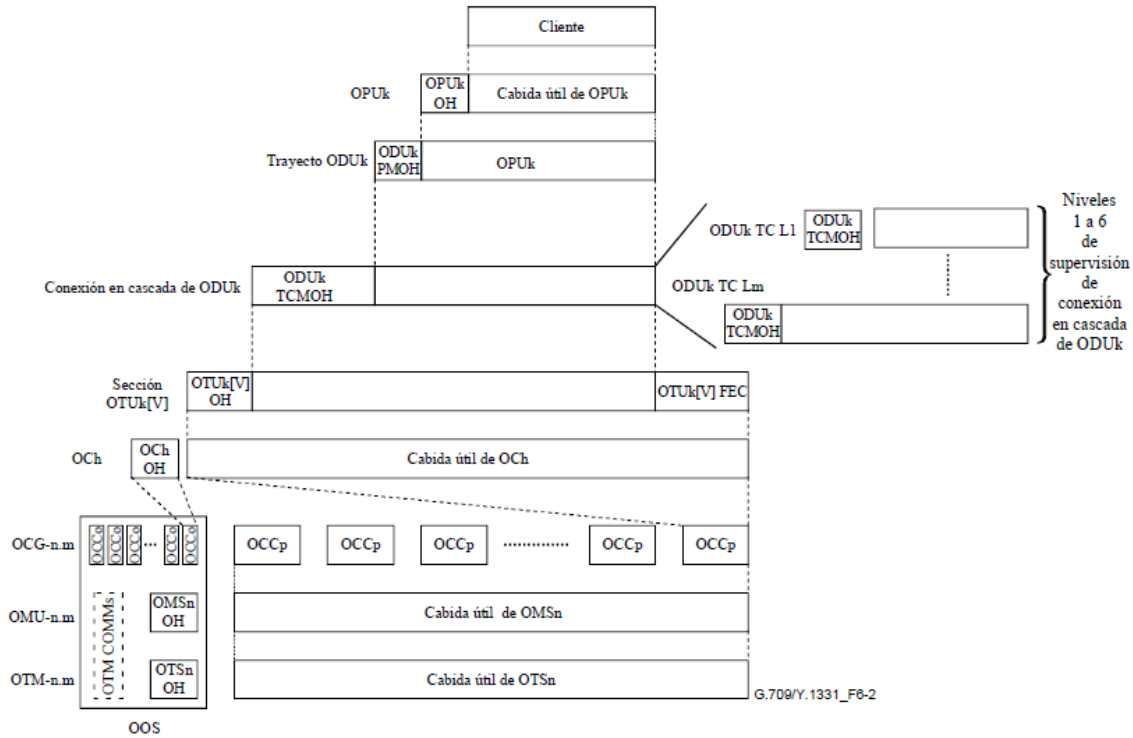


Fig. 2-2/G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-n.m

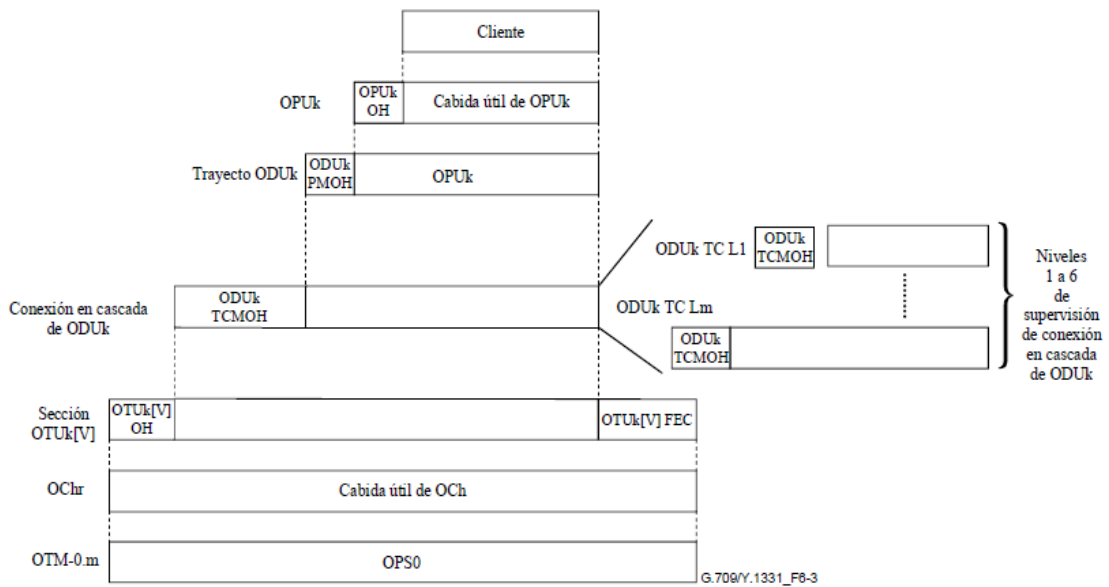


Fig. 2.3 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-0.m

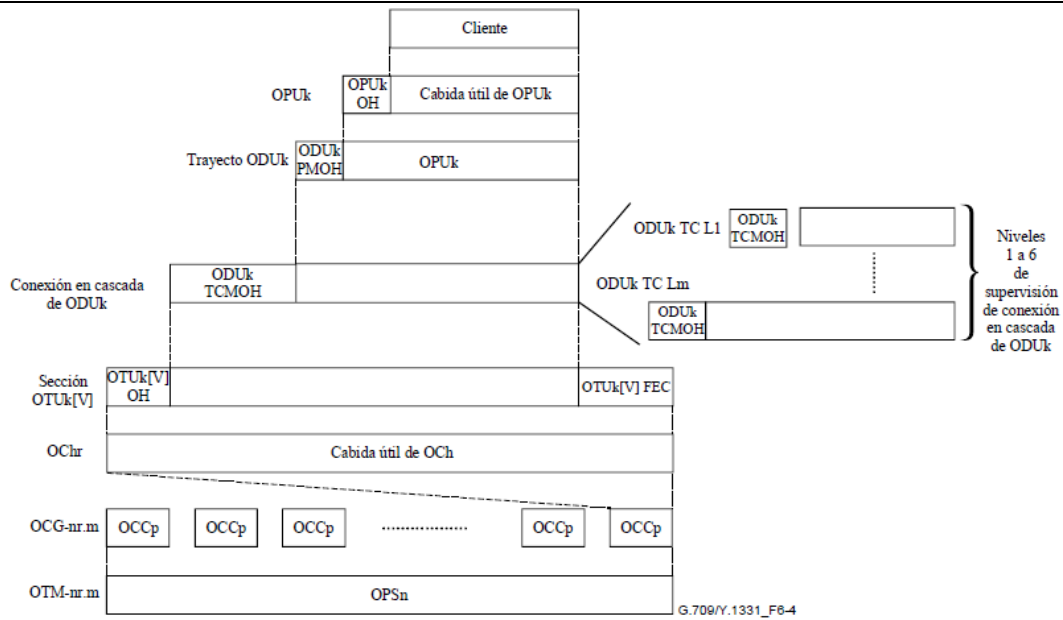


Fig. 2.4 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contención de información de OTM nr.m.

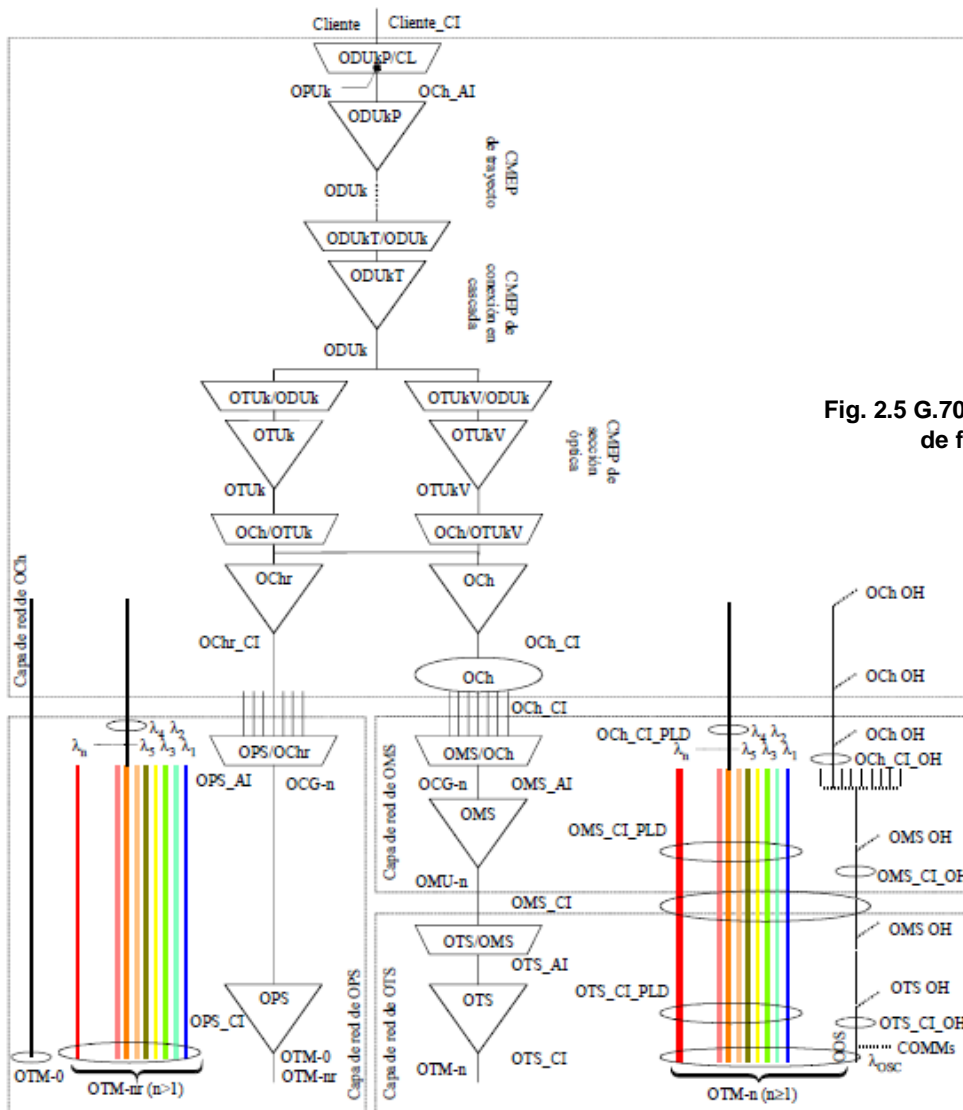


Fig. 2.5 G.709/Y.1331 Ejemplo de relación de flujos de información

NOTA – El modelo de esta figura sólo tiene fines ilustrativos. λ representa una longitud de onda óptica.

2.3 Principios de multiplexación/correspondencia y velocidades binarias

La fig. 2.6 muestra la relación entre diversos elementos de estructura de información e ilustra la estructura de multiplexación y correspondencias (incluidas la multiplexación por longitud de onda y por división en el tiempo) para el OTM-n.

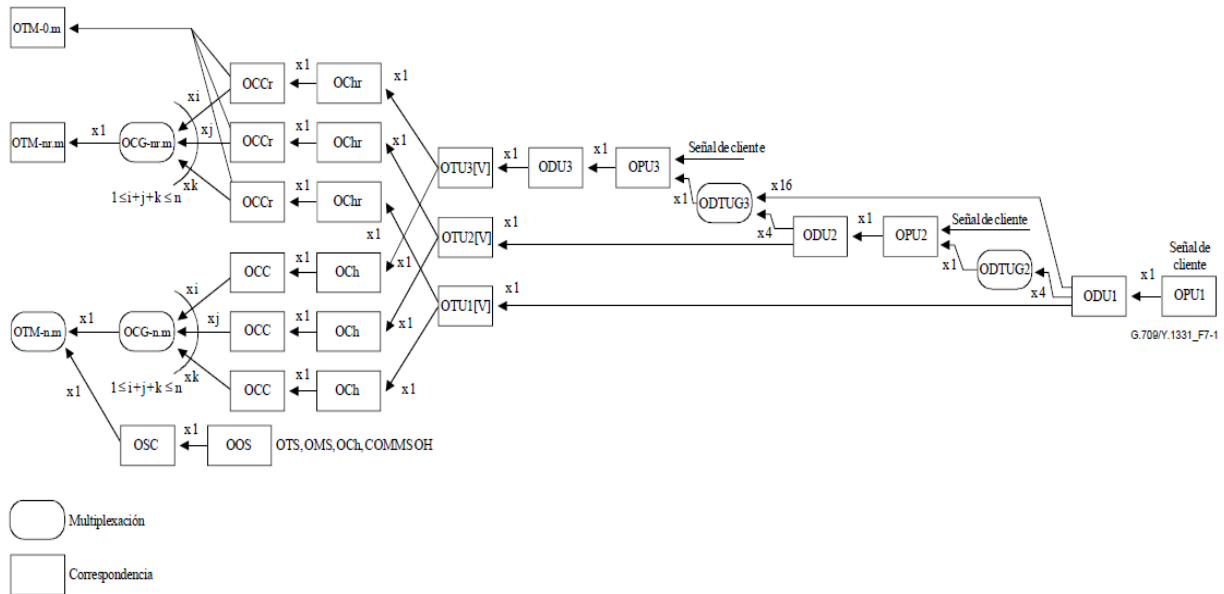


Fig. 2.6 G.709/Y.1331 – Multiplexación de OTM y estructuras de correspondencia

2.3.1 Correspondencia

La señal de cliente o un grupo de unidades afluentes de la unidad de datos del canal óptico (ODTUG_k, *optical channel data unit tributary unit group*) se hace corresponder a la OPU_k. La OPU_k se hace corresponder a la ODU_k y la ODU_k se hace corresponder a una OTU_k [V]. La OTU_k [V] se hace corresponder a un OCh[r] y el OCh[r] es modulado en una OCC[r].

2.3.2 Multiplexación por división de longitud de onda

Hasta n ($n \geq 1$) OCC[r] son multiplexados en un OCG_{-n}[r].m mediante el procedimiento de multiplexación por división de longitud de onda. Los intervalos afluentes OCC[r] de OCG_{-n}[r].m pueden tener distintos tamaños.

El OCG-n[r].m es transportado por el OTM-n[r].m. En el caso de las interfaces OTM-n.m con funcionalidad completa, el OSC se multiplexa en el OTM-n.m mediante el procedimiento de multiplexación por división de longitud de onda.

2.4 Velocidades binarias y capacidad

Las velocidades binarias y capacidad de las señales OTUk se definen en la tabla 2-1.

Las velocidades binarias y capacidad de las señales ODUk se definen en el cuadro 2-2.

Las velocidades binarias y capacidad de la cabida útil OPUk y OPUk-Xv se definen en el cuadro 2-3.

Los periodos de trama OTUk/ODUk/OPUk/OPUk-Xv se definen en el cuadro 2-4.

Tabla 2.1 G.709/Y.1331 Tipos y capacidad de OTU

Tipo de OTU	Velocidad binaria nominal de OTU	Tolerancia de velocidad binaria de OTU
OTU1	$255/238 \times 2\,488\,320$ kbit/s	±20 ppm
OTU2	$255/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
OTU3	$255/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
NOTA – Las velocidades nominales de OTUk son aproximadamente: 2 666 057,143 kbit/s (OTU1), 10 709 225,316 kbit/s (OTU2) y 43 018 413,559 kbit/s (OTU3).		

Tabla 2.2 G.709/Y.1331. Tipos y capacidad de ODU

Tipo de ODU	Velocidad binaria nominal de ODU	Tolerancia de velocidad binaria de ODU
ODU1	$239/238 \times 2\,488\,320$ kbit/s	±20 ppm
ODU2	$239/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
ODU3	$239/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
NOTA – Las velocidades nominales de ODUk son aproximadamente: 2 498 775,126 kbit/s (ODU1), 10 037 273,924 kbit/s (ODU2) y 40 319 218,983 kbit/s (ODU3).		

Tabla 2.3 G.709/Y.1331, Tipos y capacidad de OPU

Tipo de OPU	Velocidad binaria nominal de cabida útil de OPU	Tolerancia de velocidad binaria de cabida útil de OPU
OPU1	2 488 320 kbit/s	± 20 ppm
OPU2	238/237 × 9 953 280 kbit/s	
OPU3	238/236 × 39 813 120 kbit/s	
OPU1-Xv	X × 2 488 320 kbit/s	± 20 ppm
OPU2-Xv	X × 238/237 × 9 953 280 kbit/s	
OPU3-Xv	X × 238/236 × 39 813 120 kbit/s	
NOTA – Las velocidades nominales de cabida útil de OPU _k son aproximadamente: 2 488 320,000 kbit/s (cabida útil OPU1), 9 995 276,962 kbit/s (cabida útil OPU2) y 40 150 519,322 kbit/s (cabida útil OPU3). Las velocidades nominales de cabida útil de OPU _k -Xv son aproximadamente: X × 2 488 320,000 kbit/s (cabida útil OPU1-Xv), X × 9 995 276,962 kbit/s (cabida útil OPU2-Xv) y X × 40 150 519,322 kbit/s (cabida útil OPU3-Xv).		

Tabla 2.4 G.709/Y.1331 – Periodos de trama de OTUK/ODUK/OPUK

Tipo OTU/ODU/OPU	Periodo (nota)
OTU1/ODU1/OPU1/OPU1-Xv	48,971 μs
OTU2/ODU2/OPU2/OPU2-Xv	12,191 μs
OTU3/ODU3/OPU3/OPU3-Xv	3,035 μs
NOTA – El periodo es un valor aproximado, redondeado a tres cifras.	

2.5 Módulo de transporte óptico (OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-0.m)

Se definen dos estructuras OTM, una con funcionalidad completa y una con funcionalidad reducida.

En la actualidad, para la IrDI sólo hay definidas interfaces OTM de funcionalidad reducida. Otras IrDI para OTM con funcionalidad completa o reducida quedan en estudio.

2.5.1 OTM con funcionalidad reducida (OTM-0.m, OTM-nr.m)

El OTM-n soporta n canales ópticos sobre un tramo óptico único con regeneración 3R y terminación de la OTU_k [V] en cada extremo. Como la regeneración 3R se lleva a cabo en ambos lados de las interfaces OTM-0.m y OTM-nr.m, la tara OTU_k[V] es accesible y se proporciona mantenimiento/supervisión de la interfaz

por medio de esta tara. Por lo tanto, no se requiere tara OTN no asociada a través de las interfaces OTM-0.m y OTM-nr.m, y no se soporta un OSC/OOS.

Se definen dos clases de interfaces OTM de funcionalidad reducida, OTM-0.m y OTM-16r.m. Otras clases de interfaz de funcionalidad reducida quedan en estudio.

2.5.2 OTM-0.m

El OTM-0.m soporta un canal óptico no de color por un tramo óptico único con regeneración 3R en cada extremo.

Se definen tres señales de interfaz OTM-0.m (véase la fig. 2.7), cada una de las cuales transporta una señal de canal óptico único que contiene una señal OTUk [V]:

- OTM-0.1 (que transporta una OTU1[V]);
- OTM-0.2 (que transporta una OTU2[V]);
- OTM-0.3 (que transporta una OTU3 [V]).

En términos genéricos: OTM-0.m.

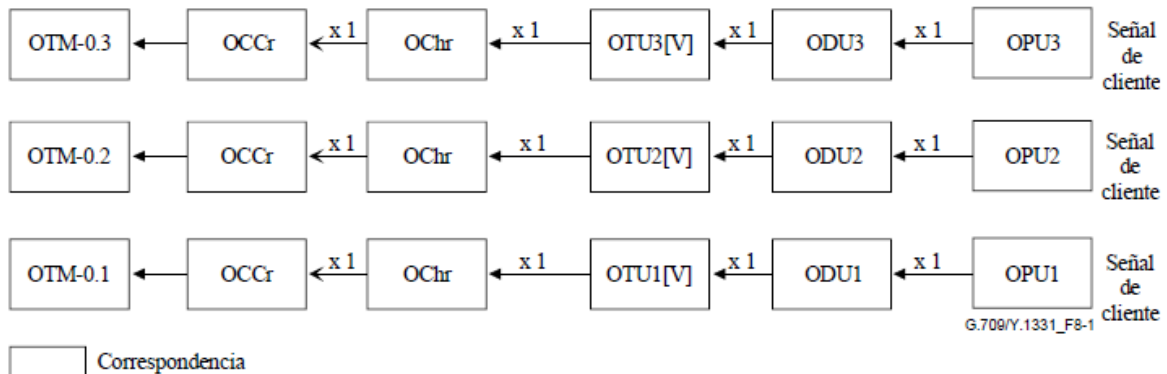


Fig. 2.7 G.709/Y.1331 – Estructura de OTM-0.m

La fig. 2.7 muestra la relación entre diversos elementos de estructura de información que se definen más adelante, e ilustra posibles correspondencias para OTM-0.m.

No está presente un OSC, Canal de supervisión óptico (*optical supervisory channel*) y tampoco hay OOS, Señal de tara de modo de transporte óptico (*OTM overhead signal*).



2.5.3 OTM-16r.m

Este OTM-16r.m soporta 16 canales ópticos en un tramo óptico único con regeneración 3R en cada extremo.

Se definen seis señales de interfaz OTM-16r:

- OTM-16r.1 (que transporta i ($i \leq 16$) señales OTU1[V]);
- OTM-16r.2 (que transporta j ($j \leq 16$) señales OTU2[V]);
- OTM-16r.3 (que transporta k ($k \leq 16$) señales OTU3[V]);
- OTM-16r.123 (que transporta i ($i \leq 16$) OTU1[V], j ($j \leq 16$) señales OTU2[V] y k ($k \leq 16$) OTU3[V] con $i + j + k \leq 16$);
- OTM-16r.12 (que transporta i ($i \leq 16$) OTU1[V] y j ($j \leq 16$) OTU2[V] señales con $i + j \leq 16$);
- OTM-16r.23 (que transporta j ($j \leq 16$) OTU2[V] y k ($k \leq 16$) OTU3[V] señales con $j + k \leq 16$) identificadas en términos genéricos como OTM-16r.m.

Identificadas en términos genéricos como OTM-16r.m.

La señal OTM-16r.m es una señal OTM-nr.m con 16 portadoras de canal óptico (OCCr) numeradas de OCCr #0 a OCCr #15, No está presente un canal de supervisión óptico (OSC) y tampoco hay OOS.

Por lo menos una de las OCCr está en servicio durante el funcionamiento normal y transporta una OTUk [V].

No hay un orden predefinido para poner en servicio las OCCr.

Las seis señales de interfaz OTM-16r.m definidas y la estructura de multiplexación OTM-16r.m se muestran en la fig. 2.8

Nota.- No se define tara de OPS para el OTM-16r.m. La interfaz utilizará OTUk [V] SMOH en esta interfaz de multilongitud de onda para supervisión y gestión. Los informes de fallo de conectividad (TIM) de OTM-16r.m se calcularán a partir de los informes de OTUk [V] mediante correlación de fallos en la gestión de averías. Para más detalles, véanse las Recomendaciones relativas a equipos.

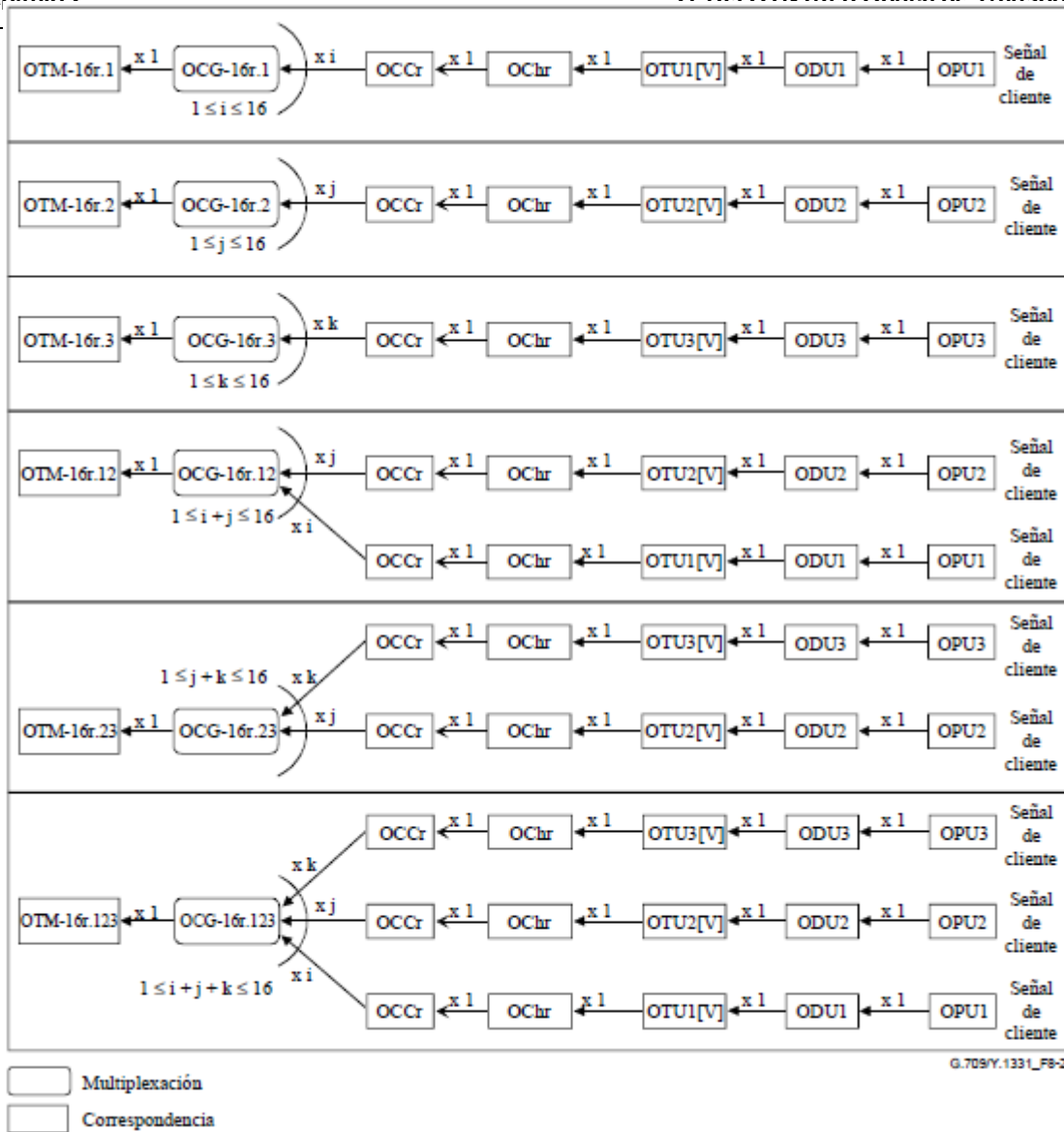


Fig. 2.8 G.709/Y.1331, Estructura de multiplexación OTM-16r.m

2.5.4 OTM con funcionalidad completa (OTM-n.m)

La interfaz OTM-n.m soporta hasta n canales ópticos para tramos ópticos únicos o múltiples. No se requiere regeneración 3R en la interfaz.

Se definen seis señales de interfaz OTM-n:

- OTM-n.1 (que transporta i ($i \leq n$) señales OTU1[V])
- OTM-n.2 (que transporta j ($j \leq n$) señales OTU2[V])
- OTM-n.3 (que transporta k ($k \leq n$) señales OTU3[V])

- OTM-n.123 (que transporta i ($i \leq n$) OTU1[V], j ($j \leq n$) señales OTU2[V] y k ($k \leq n$) OTU3[V] con $i + j + k \leq n$)

2.6 Unidad de transporte de canal óptico (OTU)

La OTU_k [V] acondiciona la ODU_k para el transporte por conexiones de red de canal óptico. La estructura de trama de OTU_k está completamente normalizada. La OTU_kV es una estructura de trama normalizada sólo en lo funcional (es decir, sólo se especifica la funcionalidad requerida).

2.6.1 Estructura de trama de OTU_k

La estructura de trama de OTU_k ($k = 1, 2, 3$) se basa en la estructura de trama de ODU_k y la amplía con la corrección de errores en recepción (FEC), como se muestra en la fig. 2.9 Se añaden 256 columnas a la trama ODU_k para la FEC, y los octetos de tara reservados en la fila 1, columnas 8 a 14 de la tara de ODU_k se utilizan para tara específica de OTU_k, lo que resulta en una estructura de trama de bloques basada en octetos con cuatro filas y 4080 columnas. El MSB en cada octeto es el bit 1, y el LSB es el bit 8.

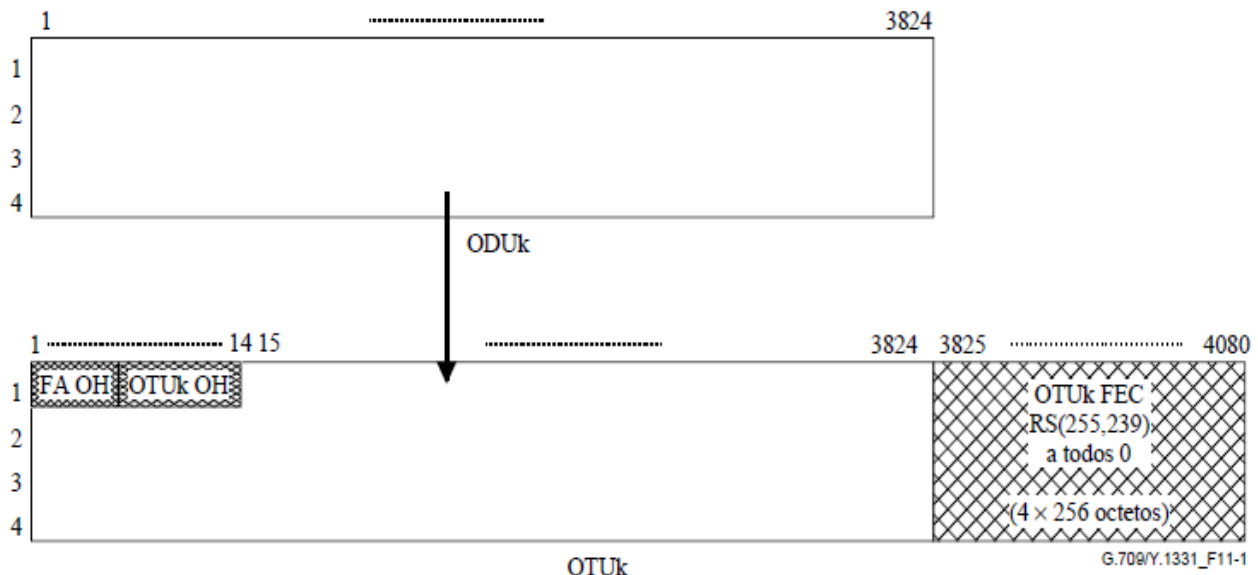


Fig. 2.9 G.709/Y.1331, Estructura de trama de OTU_k.

Las velocidades binarias de las señales OTU_k se definen en la tabla 2.5.

La corrección intrínseca de errores (FEC) de OTUk contiene códigos FEC RS (255,239) de Reed-Solomon. Si no se utiliza FEC, hay que utilizar octetos de relleno fijo (esquema todos 0).

Para el interfuncionamiento de equipos que soportan FEC con equipos que no la soportan (insertando el esquema todos 0 de relleno fijo en la zona OTUk FEC), los equipos que soportan FEC soportarán la capacidad de inhabilitar el proceso de decodificación FEC (pasar por alto el contenido de FEC de OTUk).

El orden de transmisión de los bits en la trama OTUk es de izquierda a derecha, de arriba a abajo y de MSB a LSB (véase la fig. 2.10).

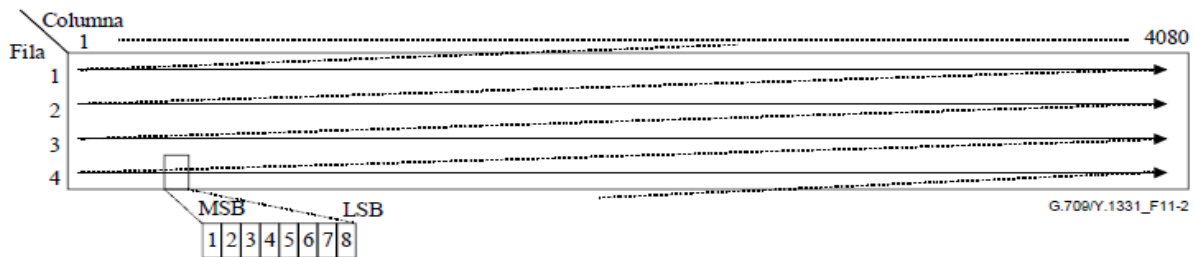


Fig. 2.10 G.709/Y.1331, Orden de transmisión de bits de la trama OTUk

2.6.2 Aleatorización

La señal OTUk debe tener suficiente contenido de temporización de bits en la ONNI. Se proporciona, mediante un aleatorizador, un esquema adecuado, que impide una secuencia larga de "1" o de "0".

El funcionamiento del aleatorizador será funcionalmente idéntico al de un aleatorizador síncrono de trama con una longitud de secuencia de 65535 que funciona a la velocidad de la OTUk.

El polinomio generador será $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$. La fig. 2.11 muestra un diagrama funcional de aleatorizador síncrono de trama.

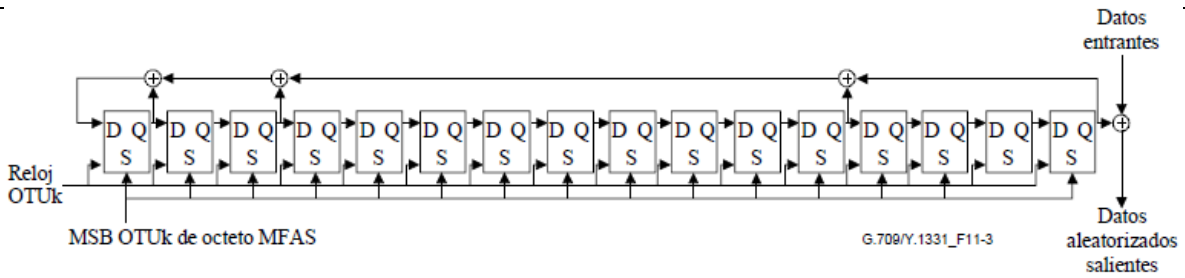


Fig. 2.11 G.709/Y.1331 – Aleatorizador síncrono de trama.

El aleatorizador será reiniciado a "FFFF" (HEX) en el bit más significativo del octeto que sigue al último octeto de alineación de trama en la trama OTUk, es decir, el MSB del octeto MFAS. Este bit, y todos los subsiguientes que han de ser aleatorizados, se sumarán en módulo 2 a la salida de la posición x_{16} del aleatorizador. El aleatorizador se aplicará continuamente a todo lo largo de la trama OTUk completa. Los octetos de alineación de trama (FAS) de la tara de OTUk no serán aleatorizados.

La aleatorización se efectúa después del cálculo e inserción de FEC en la señal OTUk.

2.7 Descripción de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk

En la fig. 2.12 se muestra la ubicación de la tara de alineación de trama de OTUk/ODUk. La tara de alineación de trama de OTUk/ODUk es aplicable para las señales OTUk y ODUk.

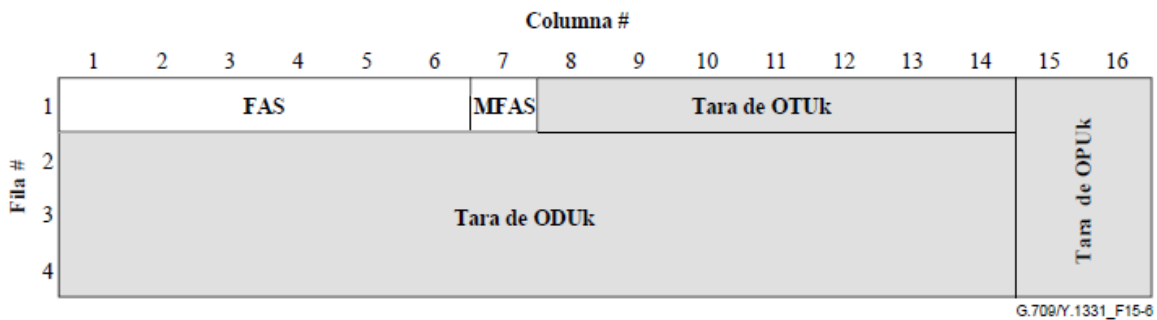


Fig. 2.12G.709/Y.1331 □ Tara de alineación de trama de OTUk/ODUk.

2.7.1 Definición de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk

Señal de alineación de trama (FAS)

Se define una señal OTUk-FAS de seis octetos (véase la fig. 2.13) en la fila 1, columnas 1 a 6 de la tara de OTUk. OA1 es "1111 0110". OA2 es "0010 1000".

FAS OH octeto 1								FAS OH octeto 2								FAS OH octeto 3								FAS OH octeto 4								FAS OH octeto 5								FAS OH octeto 6							
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
OA1								OA1								OA1								OA2								OA2								OA2							

G.709/Y.1331_F15-7

Fig.2.13/G.709/Y.1331, Estructura de tara de señal de alineación de trama.

2.7.2 Señal de alineación de multitrama (MFAS)

Algunas de las señales de tara de OTUk y ODUk abarcarán múltiples tramas OTUk/ODUk. Como ejemplos cabe citar las señales de tara de TTI y TCM-ACT. Éstas y otras señales de tara estructuradas en multitrama requieren el procesamiento de alineación de multitrama, además de la alineación de trama de OTUk/ODUk.

Se define, con este fin, un octeto de señal de alineación de multitrama (MFAS) en la fila 1, columna 7 de la tara de OTUk/ODUk (véase la fig. 2.14). El valor del octeto MFAS aumentará cada trama OTUk/ODUk y proporciona por tanto una multitrama de 256 tramas.

MFAS OH octeto							
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0
⋮							
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1

Secuencia MFAS

Fig. 2.14 G.709/Y.1331 – Tara de señal de alineación de multitrama

G.709/Y.1331_F15-8

Cada señal de tara de OTUK/ODUK puede utilizar esta multitrama central para enclavar sus multitramas de 2 tramas, 4 tramas, 8 tramas, 16 tramas, 32 tramas, etc., a la trama principal.

2.8 Descripción de OTUK OH

En las figuras 2.15 y 2.16 se muestran la ubicación de la tara de OTUK.

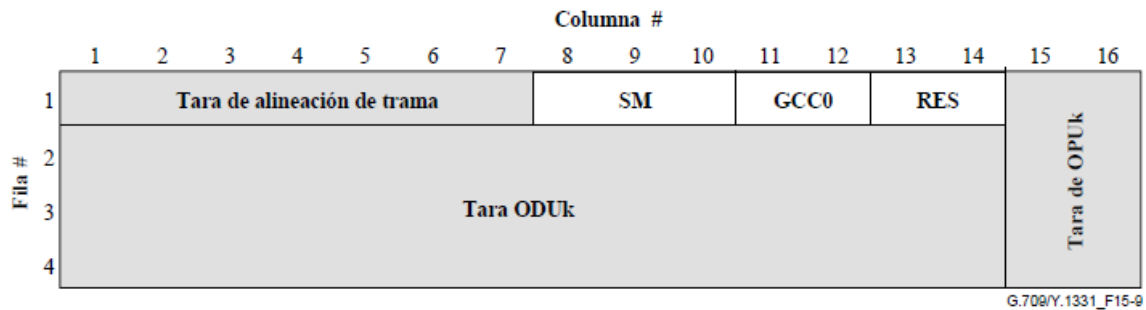


Fig. 2.15/G.709/Y.1331 □ Tara de OTUK.

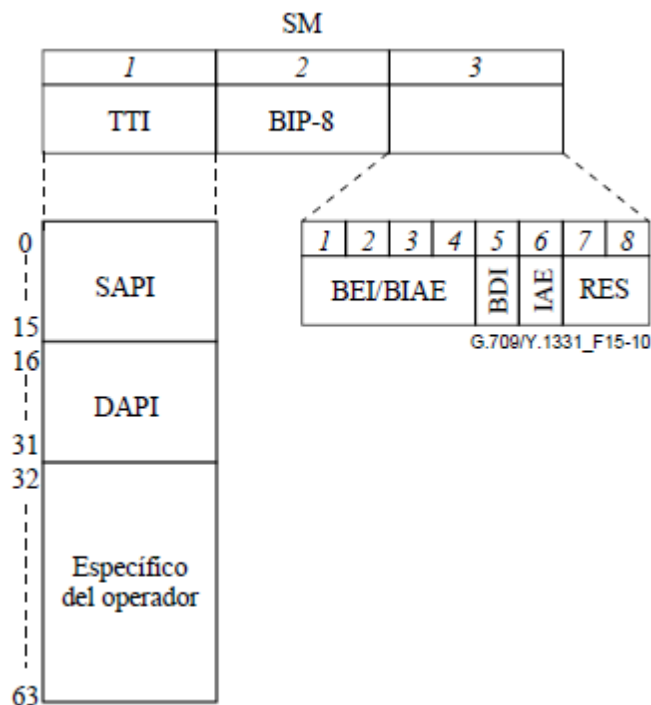


Fig. 2.16/G.709/Y.1331 □ Tara de supervisión de sección de OTUK

2.8.1 Definición de tara de OTUk

Se define un campo tara de supervisión de sección (SM) de OTUk en la fila 1, columnas 8 a 10 para soportar la supervisión de sección.

El campo SM contiene los siguientes subcampos (fig. 2.16):

- identificador de traza de camino (TTI);
- paridad con entrelazado de bits (BIP-8);
- indicación de defecto hacia atrás (BDI);
- indicación de error hacia atrás y error de alineación entrante hacia atrás (BEI/BIAE);
- error de alineación entrante (IAE);
- bits reservados para futura normalización internacional (RES).

Identificador de traza de camino (TTI) de OTUk SM: Para la supervisión de sección, se define una tara de TTI de un octeto para transportar la señal TTI de 64 octetos.

La señal TTI de 64 octetos será alineada con la multitrama OTUk y transmitida cuatro veces por multitrama. El octeto 0 de la señal TTI de 64 octetos estará presente en las posiciones de multitrama de OTUk 0000 0000 (0x00), 0100 0000 (0x40), 1000 0000 (0x80) y 1100 0000 (0xC0).

Código de detección de error (BIP-8) de OTUk SM: Para la supervisión de sección se define un código de detección de error de un octeto. Este octeto proporciona el código de paridad con entrelazado de bits 8 (BIP-8, *bit interleaved parity-8*).

NOTA.- La notación *BIP-8* se refiere solamente al número de bits BIP y no a la utilización de EDC (es decir, las cantidades que son contadas). Para la definición de BIP-8 consultar la definición de BIP-X que se da en la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.

OTUk BIP-8 se calcula en los bits en la zona de OPUk (columnas 15 a 3824) de la trama i de OTUk, y se inserta en la posición de tara OTUk BIP-8 en la trama OTUk $i+2$ (véase la fig. 2.17).

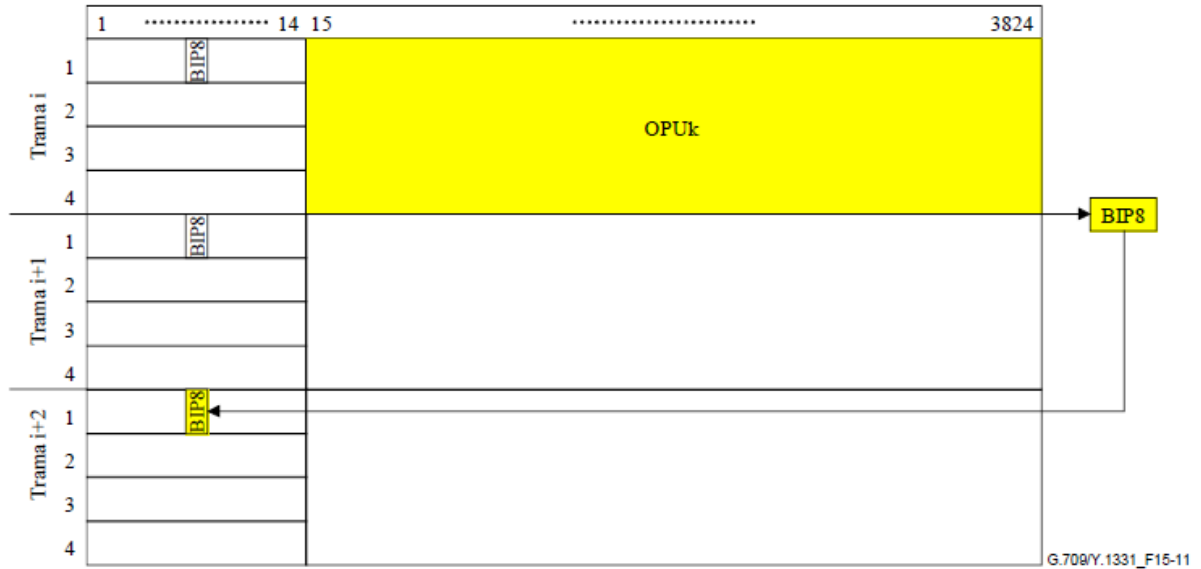


Fig. 2.17/G.709/Y.13, Cálculo de BIP-8 de OTUk SM.

Indicación de defecto (BDI) hacia atrás de OTUk SM: A efectos de la supervisión de la sección, por definición, una señal de indicación de defecto hacia atrás (BDI) de un bit transporta el status de fallo de señal detectado en una función sumidero de terminación de sección en el sentido hacia el origen.

BDI se pone a "1" para indicar un defecto hacia atrás de OTUk, en los demás casos se pone a "0".

15.7.2.1.4 Indicación de error hacia atrás y error de alineación entrante hacia atrás (BEI/BIAE) de OTUk SM A efectos de la supervisión de la sección, se define una señal de indicación de error hacia atrás (BEI) y de error de alineación entrante hacia atrás (BIAE, *backward incoming alignment error*) de cuatro bits. Esta señal se utiliza para transportar en el sentido hacia el origen la cuenta de los bloques con entrelazado de bits que han sido detectados como erróneos por el



correspondiente sumidero de supervisión de sección OTUk mediante el código BIP-8. Se utiliza también para transportar en el sentido hacia el origen una condición de error de alineación entrante (IAE, *incoming alignment error*) detectada por el correspondiente sumidero de supervisión de sección OTUk en la tara de IAE.

Durante una condición IAE se inserta el código "1011" en el campo BEI/BIAE y se ignora la cuenta de errores. En otro caso se inserta la cuenta de errores (0-8) en el campo BEI/BIAE. Los seis valores restantes posibles representados por estos cuatro bits sólo pueden producirse como resultado de alguna condición no conexas y serán interpretados como cero errores (véase tabla 2.5) y como BIAE no activo.

Tabla 2.5/G.709/Y.1331 Interpretación de BEI/BIAE de OTUk SM

BEI/BIAE de OTUk SM		BIAE	Violaciones de BIP
bits	1 2 3 4		
	0 0 0 0	falso	0
	0 0 0 1	falso	1
	0 0 1 0	falso	2
	0 0 1 1	falso	3
	0 1 0 0	falso	4
	0 1 0 1	falso	5
	0 1 1 0	falso	6
	0 1 1 1	falso	7
	1 0 0 0	falso	8
	1 0 0 1, 1 0 1 0	falso	0
	1 0 1 1	verdadero	0
	1 1 0 0	falso	0
	a 1 1 1 1		

Tara de error de alineación entrante (IAE) de OTUk SM: Por definición una señal de error de alineación entrante de un bit (IAE) permite al punto de ingreso de



S-CMEP informar a su punto de egreso S-CMEP porque se ha detectado un error de alineación en la señal entrante.

IAE se pone a "1" para indicar un error de alineación de trama; en los demás casos se pone a "0".

El punto de egreso S-CMEP puede utilizar esta información para suprimir la cuenta de errores en los bits, que pueden ocurrir como resultado de un cambio de fase de trama de la OTUk en el ingreso de la sección.

Tara reservada (RES) de OTUk SM: Con fines de supervisión de la sección, se reservan dos bits (RES) para futura normalización internacional. Se ponen a "00".

Canal de comunicaciones generales 0 (GCC0) de OTUk: En la tara de OTUk se han asignado dos octetos para soportar un canal de comunicaciones generales entre puntos de terminación OTUk. Éste es un canal claro y toda especificación de formato está fuera del ámbito de la presente Recomendación. Estos octetos están en la fila 1, columnas 11 y 12 de la tara de OTUk.

Tara reservada (RES) de OTUk: Se han reservado dos octetos de tara de OTUk para futura normalización internacional. Estos octetos están en la fila 1, columnas 13 y 14, y se ponen todos a CERO.

La trama OTUkV normalizada funcionalmente debe soportar, como una capacidad mínima, una funcionalidad de supervisión de sección comparable a la supervisión de sección OTUk

Capítulo 3

Conceptos de DWDM

La Fibra Óptica es un medio de transmisión físico capaz de brindar velocidades y distancias superiores a comparación de cualquier otro medio de transmisión (cobre e inalámbricos).

Son pequeños filamentos de vidrio ultra puro por el cual se pueden mandar haces de luz de un punto hasta otro punto en distancias que van desde 1m hasta N kilómetros.

Existen diferentes tipos de fibra óptica, y cada una es para aplicaciones diferentes, como para uso Médico, de control, de iluminación, de imprenta y el de Telecomunicaciones.

3.1 Ventajas de las comunicaciones por fibra

Gran Capacidad: La fibra óptica tiene la capacidad de transmitir grandes cantidades de información. Con la tecnología presente se pueden transmitir 60.000 conversaciones simultáneamente con dos fibras ópticas. Un cable de fibra óptica (2 cm de diámetro exterior) puede contener hasta 200 fibras ópticas, lo que incrementaría la capacidad del enlace a 6.000.000 de conversaciones. En comparación con las prestaciones de los cables convencionales, un gran cable multipar puede llevar 500 conversaciones, un cable coaxial puede llevar 10.000 conversaciones y un enlace de radio por microondas o satélite puede llevar 2.000 conversaciones.

Tamaño y peso: Un cable de fibra óptica tiene un diámetro mucho más pequeño y es más ligero que un cable de cobre de capacidad similar. Esto la hace fácil de instalar, especialmente en localidades donde ya existen cables (tales como los tubos ascendentes de los edificios) y el espacio es escaso.



Interferencia eléctrica: La fibra óptica no se ve afectada por la interferencia electromagnética (EMI)¹ o interferencia de radiofrecuencia (RFI)², y no genera por sí misma interferencia. Puede suministrar un camino para una comunicación limpia en el más hostil de los entornos EMI. Las empresas eléctricas utilizan la fibra óptica a lo largo de las líneas de alta tensión para proporcionar una comunicación clara entre sus estaciones de conmutación. La fibra óptica está también libre de conversaciones cruzadas. Incluso si una fibra radiara no podría ser recapturada por otra fibra óptica.

Aislamiento: La fibra óptica es un dieléctrico. Las fibras de vidrio eliminan la necesidad de corrientes eléctricas para el camino de la comunicación. Un cable de fibra óptica propiamente dieléctrico no contiene conductores eléctricos y puede suministrar un aislamiento eléctrico normal para multitud de aplicaciones. Puede eliminar la interferencia originada por las corrientes a tierra o por condiciones potencialmente peligrosas causadas por descargas eléctricas en las líneas de comunicación, como los rayos o las faltas eléctricas. Es un medio intrínsecamente seguro que se utiliza a menudo donde el aislamiento donde el aislamiento eléctrico es esencial.

Seguridad: La fibra óptica ofrece un alto grado de seguridad. Una fibra óptica no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética, y es muy difícil de pinchar ópticamente. Los rayos luminosos viajan por el centro de la fibra y pocos o ninguno pueden escapar. Incluso si la intervención resultara un éxito, se podría detectar monitorizando la señal óptica recibida al final de la fibra. Las señales de

¹ **Una interferencia electromagnética (EMI, Electromagnetic Interference)** es cualquier señal o emisión, radiada en el espacio o conducida a través de un cable de alimentación o señal, que pone en peligro el funcionamiento de la navegación por radio u otro servicio de seguridad, o degrada seriamente, obstruye o interrumpe de forma repetida un servicio de comunicaciones por radio autorizado. Los servicios de radiocomunicaciones incluyen, entre otros, emisoras comerciales de AM/FM, televisión, servicios de telefonía móvil, radar, control de tráfico aéreo, buscaperonas y servicios de comunicación personal (PCS, Personal Communication Services). Estos servicios de radio autorizado y servicios de radio no autorizados, como WLAN o Bluetooth, y los radiadores involuntarios, como dispositivos digitales, incluidos los sistemas informáticos, contribuyen al entorno electromagnético.

http://www.dell.com/downloads/global/corporate/environ/comply/emc_dellemc_eu_ce_spanish.pdf

² El ruido eléctrico de línea se define como la Interferencia de Radio Frecuencia (RFI). http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica



comunicación vía satélite o radio se pueden intervenir fácilmente para su decodificación.

Fiabilidad y mantenimiento: La fibra óptica es un medio constante y no envejece. Los enlaces de fibra óptica bien diseñados son inmunes a condiciones adversas de humedad y temperatura y se pueden utilizar incluso para cables subacuáticos. La fibra óptica tiene también una larga vida de servicio, estimada en más de treinta años para algunos cables. El mantenimiento que se requiere para un sistema de fibra óptica es menor que el requerido para un sistema convencional, debido a que se requieren pocos repetidores electrónicos en un enlace de comunicaciones; no hay cobre que se pueda corroer en el cable y que pueda causar la pérdida de señales o señales intermitentes; y el cable no se ve afectado por cortocircuitos, sobre tensiones o electricidad estática.

Versatilidad: Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica son los adecuados para la mayoría de los formatos de comunicaciones de datos, voz y vídeo. Estos sistemas son adecuados para RS2323, RS422, V.35, Ethernet, Arcnet, FDDI, T1, T2, T3, Sonet, 2/4 cable de voz, señal E&M, vídeo compuesto y mucho más.

Expansión: Los sistemas de fibra óptica bien diseñados se pueden expandir fácilmente. Un sistema diseñado para una transmisión de datos a baja velocidad, por ejemplo, T1 (1,544 Mbps), se puede transformar en un sistema de velocidad más alta, OC-12 (622 Mbps), cambiando la electrónica. El cable de fibra óptica utilizado puede ser el mismo.

Regeneración de la señal: La tecnología presente puede suministrar comunicaciones por fibra óptica más allá de los 70 Km. antes de que se requiera regenerar la señal, la cual puede extenderse a 150 Km. usando amplificadores láser. Futuras tecnologías podrán extender esta distancia a 200 Km. y posiblemente 1.000 Km. El ahorro en el costo de equipamiento del repetidor intermedio, así como su mantenimiento, puede ser sustancial. Los sistemas de



cable eléctrico convencional pueden, en contraste, requerir repetidores cada pocos kilómetros.

3.2 Composición de las fibras ópticas

Los cables ópticos están formados por dos componentes básicos, cada uno de los cuales debe ser seleccionado adecuadamente en función de la especificación recibida, o del trabajo a desarrollar:

- El núcleo óptico: Formado por el conjunto de las fibras ópticas, conforma el sistema guía-ondas responsable de la transmisión de los datos. Sus características vendrán definidas por la naturaleza de la red a instalar. Definirá si se trata de un cable con fibras Monomodo, Multimodo o mixto.
- Los elementos de protección: Su misión consiste en proteger al núcleo óptico frente al entorno en el que estará situado el cable, y consta de varios elementos (Cubiertas, armadura, etc.) superpuestos en capas concéntricas a partir del núcleo óptico. En función de su composición, el cable será interior, exterior, para instalar en conducto, aéreo, etc.

3.2.1 Tipos de fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que utiliza a la luz y sus fenómenos de propagación para transportar una señal portadora en la que se envía información tanto analógica como digital.

La cual trabaja en tres ventanas de operación.

Tabla 3.1 Ventanas de operación de la fibra óptica.

Ventana	$\lambda_{\text{inferior}}$	$\lambda_{\text{superior}}$	λ_{nominal}
1	800 nm	900 nm	850 nm
2	1250 nm	1350 nm	1310 nm
3	1500 nm	1600 nm	1550 nm

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio o cuarzo largos y flexibles de pequeña sección transversal (circulares), de dimensiones comparables al cabello humano.

Este filamento de cristal o plástico de alta pureza tiene un diámetro de $125\ \mu\text{m}$, constituido de dos cilindros concéntricos de diferente índice de refracción que mediante fenómenos ópticos de reflexión y refracción de la luz transporta información mediante señales luminosas.

Una fibra óptica está constituida por dos capas, una denominada núcleo y otra llamada revestimiento, elaborados con materiales con Índice de refracción diferente, siendo menor el del revestimiento. Así como de una cubierta primaria.

Núcleo: Es la parte central de la fibra, por la que es guiada la luz que incide por uno de los extremos de la fibra.

Revestimiento: Este componente tiene un índice de refracción menor al del núcleo de la fibra y permite la reflexión total interna.

Cubierta primaria: Se aplica al momento de fabricación de la fibra inmediatamente después del estirado y sirve para darle protección mecánica a la fibra: evitar penetración de la humedad; la creación de microfisuras, o daños superficiales a la fibra y proporcionar dimensiones maniobrables.

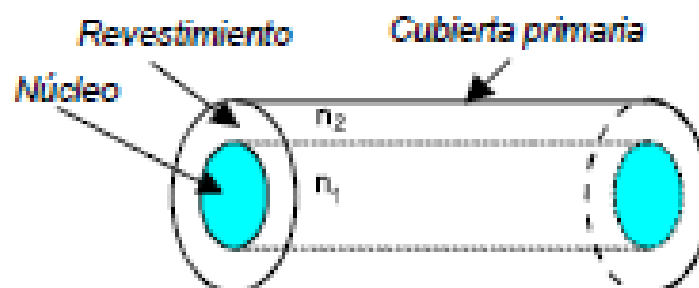


Fig. 3.1 Constitución de la fibra óptica.

Debido a la existencia de muchos modos o caminos de propagación de la luz, ocurre que la longitud recorrida por los rayos es distinta y por lo tanto un impulso

de luz a la entrada de la fibra saldrá, a la salida, disperso con lo cual queda limitado el ancho de banda de la fibra óptica. Teniendo en cuenta el modo de propagación se han clasificado a las fibras en:

Monomodo: Las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, por lo cual hay un solo modo de propagación y no existe dispersión (Fig.3.2) El ancho de banda de un sistema de fibra monomodo está limitado por la dispersión cromática material y por la dispersión cromática guía-onda, la cual se especifica en la forma picosegundos/ (nanómetro * kilómetro) (ps/nm*km). También está limitado por parámetros del equipo tales como los tiempos de subida del generador de luz y del fotodetector. Hay fibras monomodo convencionales con una dispersión cercana a cero a 1550 nm y que se conocen como fibras de dispersión desplazada. También hay fibras ópticas con dispersión cercana a cero tanto a 1310 como a 1550 nm, y se conocen como fibras de dispersión plana.

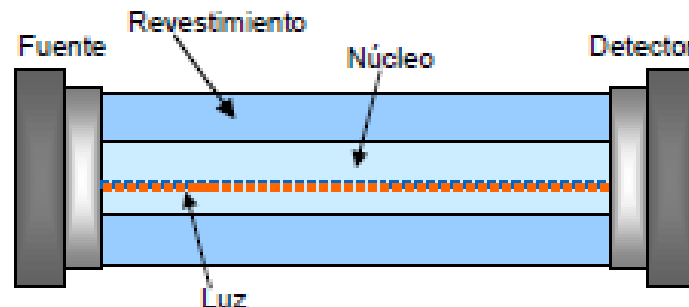


Fig. 3.2 Fibra Óptica Tipo Monomodo.

Multimodo: Contiene varios modos de propagación y ocurre en consecuencia el efecto de dispersión³ (Fig.3.3) A su vez estas últimas se subdividen en:

- Índice escalón (STEP INDEX): Tiene dispersión, reducido ancho de banda y son de bajos costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir.
- Índice gradual (GRADED INDEX): Más costosa pero de gran ancho de banda.

³ La dispersión es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a todas las ondas.

<http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema09.htm>

En las multimodo se puede disminuir la dispersión haciendo variar lentamente el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento (multimodo de índice gradual).

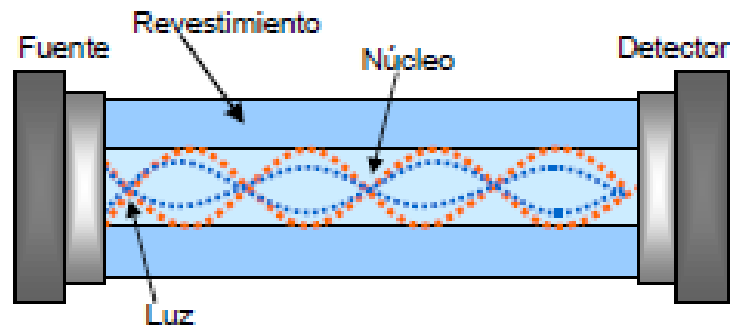


Fig. 3.3 Fibra Óptica tipo multimodo.

El índice de refracción es máximo en el centro de la fibra y mínimo en los extremos. Por otra parte, la velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción.

Luego resultará que los modos que se propagan por el centro, lo harán a menor velocidad que los que recorren un camino más largo, como ser los que se desplazan por la periferia de las fibras ópticas. Consecuentemente, se tiende a compensar la dispersión en las fibras multimodo con un índice de refracción gradual. La dispersión del pulso de luz dentro de la fibra depende, fundamentalmente, del perfil del índice de refracción de la fibra y del diámetro del núcleo. El perfil del índice de refracción varía según el tipo básico de fibra (monomodo, multimodo o índice gradual y multimodo índice escalón).

Asimismo, se entiende por dispersión del pulso de luz, al proceso por el cual un pulso se ensancha, a medida que se propaga por la fibra.

Dicho ensanchamiento se debe a que en el extremo final de la fibra de los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes, conformando en consecuencia un pulso más ancho que el que originalmente salió del otro extremo de la fibra. Este proceso limita la cantidad de información a transmitir y en consecuencia se dice que limita el ancho de banda.



Existen varios fenómenos ópticos durante la propagación de la luz dentro de una fibra óptica. Por lo que los investigadores y fabricantes de fibra óptica han diseñado diferentes tipos de fibra óptica para evitar o compensar estos fenómenos.

Uno de ellos es la dispersión, la cual provoca el ensanchamiento de un pulso de luz al viajar este a lo largo de la fibra óptica. La dispersión limita el ancho de banda o la capacidad de enviar información a través de la fibra.

Actualmente en la construcción de enlaces con cables de fibra óptica en operadores telefónicos se han utilizando cables con los siguientes modos de dispersión (proceso de absorción y radiación de la luz):

- Dispersión Normal. La fibra óptica de dispersión normal es diseñada para operar en la región de 1300 nm. La longitud de onda de dispersión cero (λ_0) debe estar entre 1300 y 1322 nm; en esta región la capacidad de transmitir información sobre la fibra es máxima.
- Dispersión Corrida: La fibra óptica de dispersión corrida es diseñada para operar en la región de 1550 nm. La longitud de onda de dispersión cero (λ_0) debe estar en 1550 nm; estando en esta región el punto de atenuación mínima.
- Dispersión Corrida No Zero: La fibra óptica de dispersión corrida No Zero es optimizada para operar con sistemas de canales múltiples de alta velocidad a largas distancias en la región de 1550 nm, permite eliminar efectos no lineales en la transmisión asegurando una dispersión no-cero en el rango de operación de 1530 a 1560 nm.
- Dispersión Corrida No Zero con mayor área efectiva (NZDS-LEAF): Es la segunda generación de fibra de dispersión corrida no zero, fue diseñada para operar en la banda C (1530-1565 nm) y L (1565-1625) nm. Está optimizada para utilizarse en sistemas de alta velocidad hasta 10 Gbps en la actualidad.

En la fig. 3.4 se observan las diferentes ventanas operación de la fibra óptica y los tipos de fibra óptica que trabajan en esas ventanas.

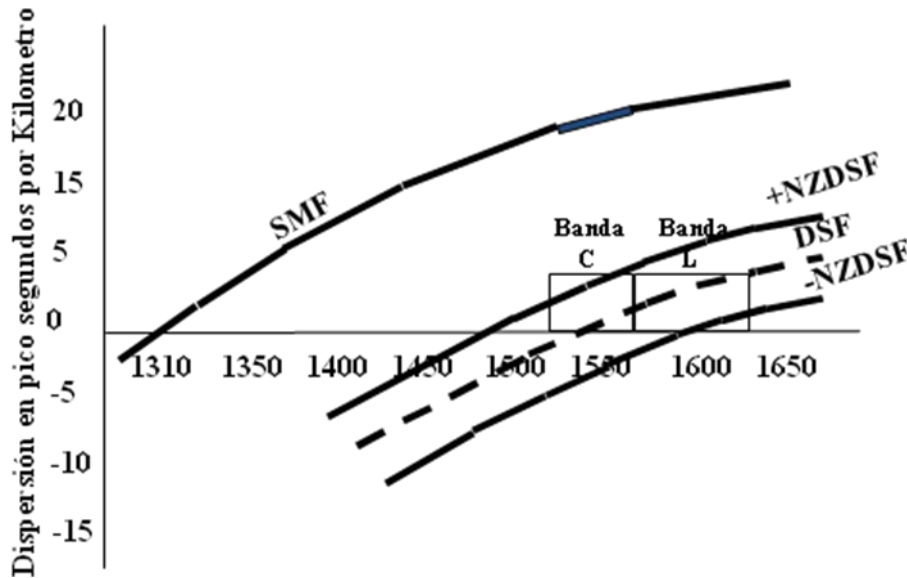


Fig. 3.4 Ventanas de operación de la fibra óptica.

3.2.2 Características de la fibra óptica

Las fibras tienen capacidad de aceptar cierta cantidad de luz, a esta capacidad de recepción se le conoce como cono de aceptación, Fig. 3.5, y está directamente relacionado a los materiales con los que ha sido construida la fibra.

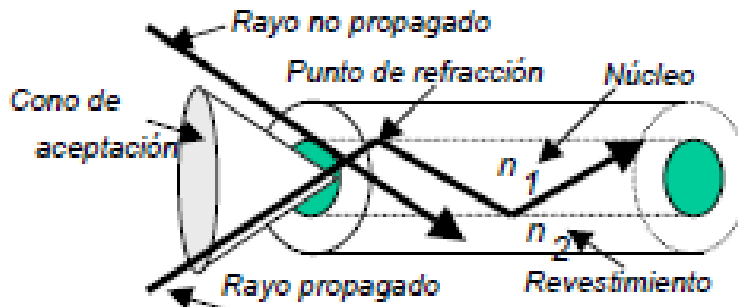


Fig. 3.5 Cono de aceptación de la fibra óptica.

En la propagación de la señal de luz a través de la fibra óptica existen pérdidas que originan que ésta se atenúe, la velocidad de transmisión se vea limitada y en general la eficiencia de la fibra se vea afectada.

Pudiendo clasificar estas pérdidas en cuatro tipos:

Absorción: Estas pérdidas se presentan cuando las impurezas (Fig. 3.6) de la fibra absorben la luz y la convierten en calor. El vidrio ultrapuro utilizado en la fabricación, es aproximadamente 99.9999% puro y aun así existen pérdidas provocadas por estas impurezas.

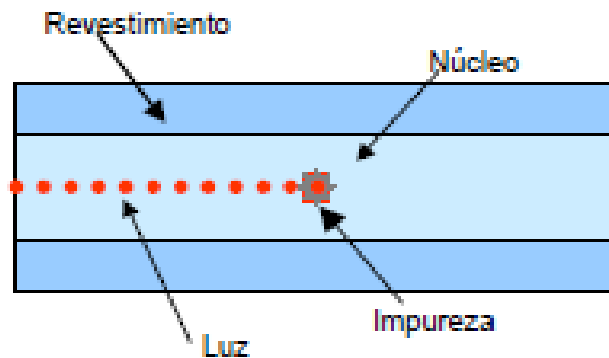


Fig. 3.6 Impurezas en fibra óptica.

Dispersión Este tipo de pérdidas se presenta de las siguientes formas:

Dispersión de Rayleigh: En la fabricación, cuando el vidrio está en estado plástico, la tensión aplicada al vidrio causa que en él se desarrollen irregularidades sub-microscópicas que se forman de manera permanente. Cuando los rayos viajan en la fibra y chocan con una de estas irregularidades la luz se difracta. La difracción causa que la luz se disperse o se reparta en muchas direcciones. Una parte de la luz difractada continua por la fibra y parte de ésta se escapa por la cubierta. Los rayos de luz que escapan por el revestimiento implican una pérdida de potencia de la luz.

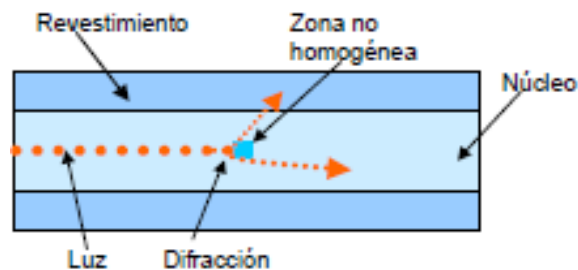


Fig. 3.7 Dispersión Rayleigh.

Dispersión cromática o de longitud de onda: Los emisores de luz en particular el LED emiten luz que contienen diferentes longitudes de onda. Cada rayo de luz viaja a una velocidad diferente; en consecuencia, los rayos de luz que se propagan en la fibra no llegan al extremo lejano al mismo tiempo, entonces la señal se distorsiona. A esto se le llama distorsión cromática, (Fig. 3.8) Cuando la fuente es un rayo láser no existe este problema.

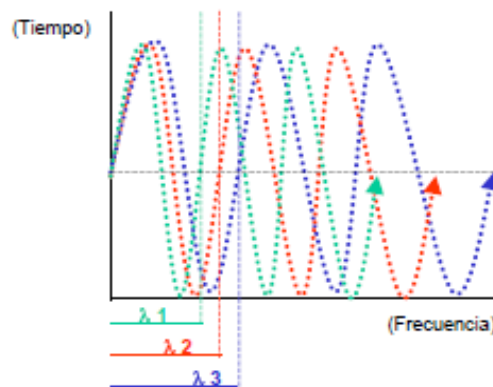


Fig. 3.8 Dispersión cromática.

Dispersión modal: Es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. Esta dispersión solo ocurre en una fibra multimodo, se elimina en las fibras monomodo o de índice graduado.

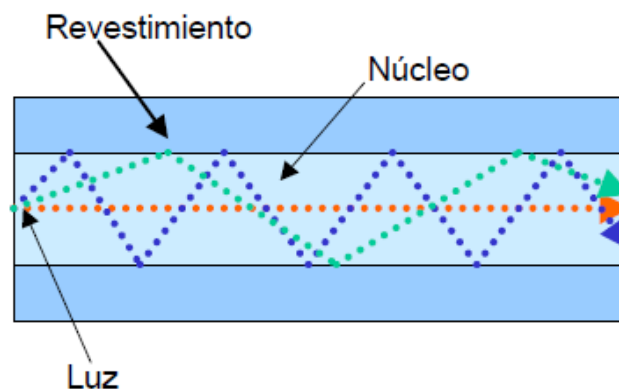


Fig. 3.9 Dispersión Modal.

Radiación: Son causadas por pequeños dobleces e irregularidades, Fig. 3.10 Hay dos tipos de dobleces: micro dobleces y dobleces de radio constante. El micro

doblamiento ocurre como un resultado de las diferencias en las relaciones de la contracción térmica entre el núcleo y el material de la cubierta. Un micro doblez representa una discontinuidad en la fibra, donde la dispersión de Rayleigh puede ocurrir. Los dobleces de radio constante ocurren cuando las fibras se doblan durante su manejo o instalación.

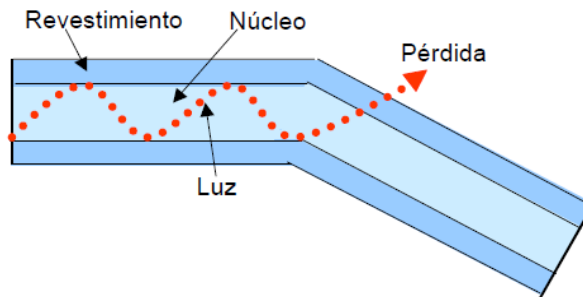


Fig. 3.10 Radiación causada por pequeños dobleces e irregularidades

Dispersión del modo de polarización: Los pulsos ópticos viajan en una fibra monomodo en dos modos de polarización. En el mundo ideal, los dos modos viajan a la misma velocidad. *En el mundo real, los dos modos viajan a velocidades ligeramente diferentes, (Fig. 3.11) Esto se llama Dispersión del Modo de Polarización (PMD).* Esta diferencia en las velocidades se traduce en una diferencia de tiempo de tránsito a través de la fibra, provocando el ensanchamiento del pulso (dispersión).

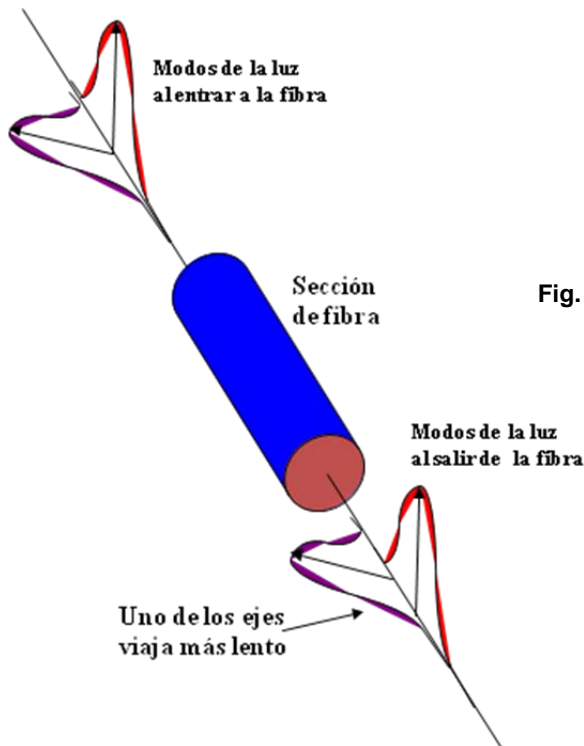


Fig. 3.11 Dispersión del modo de polarización

3.2.3 Acoplamiento

Se producen en las conexiones de fuente a fibra, empalmes de fibra a fibra y conexiones de fibra a detector. Estas conexiones o empalmes son:

Mala alineación lateral: es cuando hay desplazamiento axial, Fig. 3.12.

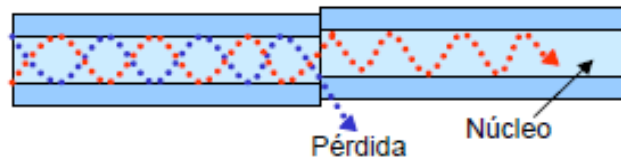


Fig. 3.12 Mala alineación lateral.

Mala alineación de la separación: Cuando se empalman o se conectan y quedan separadas las fibras, Fig. 3.13.

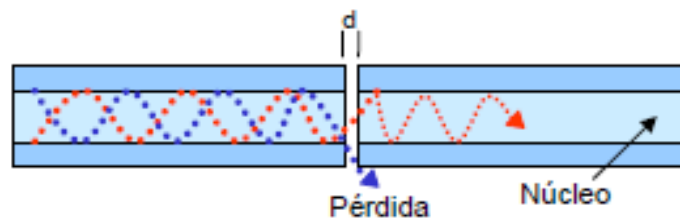


Fig. 3.13 Mala alineación de la separación

Mala alineación angular: Sí el desplazamiento angular es mayor a 2 grados, Fig. 3.14.

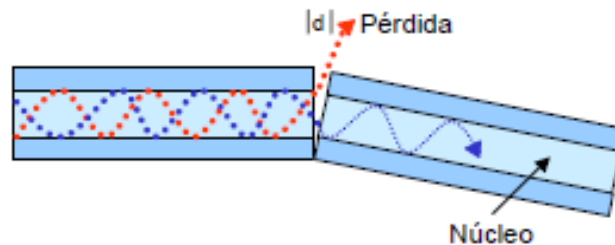


Fig. 3.14 Mala alineación angular.

Acabado de superficie imperfecta. Las puntas de las fibras en un empalme deben estar perfectamente cortadas transversalmente y pulidas en los conectores:

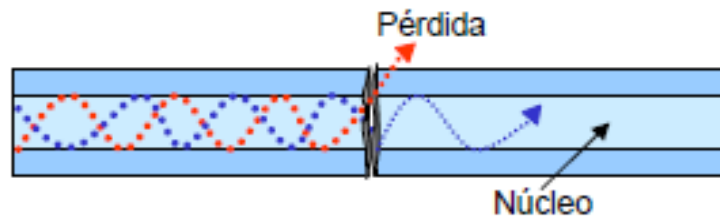


Fig. 3.15 Acabado de superficie imperfecta.

3.2.4 Características no lineales de las fibras óptica

Los efectos no lineales que preocupan a los diseñadores son:

- Mezcla de cuatro longitudes de onda (FWM, Four Wavelength Mixing).
- Inestabilidad de la Modulación (MI, Modulation Inestability).
- Auto Modulación de Fase o Modulación de la Propia Fase (SPM ó Self Phase Modulation).
- Modulación de fase cruzada (CPM, Cross Phase Modulation).

Las fibras de dispersión corrida convencionales difieren de las fibras de dispersión corrida no-cero, en que para la segunda la λ_0 ha sido movida fuera de la banda de señales de 1530 a 1560 nm de los amplificadores de fibra óptica dopada de Erblio (EDFA).

Mezcla de Cuatro Longitudes de Onda (FWM): La condición de mezcla de cuatro longitudes de onda (FWM ó Four Wavelength Mixing) aparece donde la mezcla múltiple de longitudes de onda produce nuevas e indeseables longitudes de onda. Estas longitudes de onda indeseables pueden degradar el desempeño del sistema por interferencia, por la alteración de la potencia de las señales, de las longitudes de onda originales.



Tabla 3.2 Opciones de utilización de las fibras ópticas a 1550 nm

Sistemas de un Canal, Potencia amplificada						
Fibra instalada	Manejo de la Dispersión	EDFAs	No. de Canales	Capacidad de la Fibra [Gbps]	Espacio estimado entre Repetidores [Km]	Limitaciones del Sistema
SMF	ninguna	no	1	2.5	70-90	Potencia, dispersión
SMF	ME	AP	1	2.5	140	Power
SMF	CDF*	AP	1	2.5	120-140	Power
DSF	ninguna	AP	1	2.5	120-140	Power
NZDSF	longitud de onda cero fuera de banda	AP	1	2.5	120-140	Power

Por la mezcla de cuatro ondas, los diseñadores de fibras ópticas concluyeron que son necesarios nuevos diseños optimizados para aplicaciones de WDM. Los resultados fueron las fibras de dispersión corrida no-cero (NZDSF) diseñadas con niveles finitos de dispersión que mitigan los efectos de la mezcla de cuatro ondas.

Las ventajas obtenidas con la introducción de pequeñas cantidades controladas de dispersión (pero no-cero) en las fibras unimodo, con el propósito de suprimir la FWM (mezcla de cuatro longitudes de onda), han sido verificadas. La dispersión suavemente elevada proporciona un beneficio al incrementar la capacidad de multiplexaje de longitud de onda en esas fibras. Pero la dispersión es controlada a bajos niveles para permitir la propagación de los canales individuales de 10 Gbps por mas de 300 Km sin necesidad de regeneradores de señal.

Inestabilidad de la Modulación: Para la MI (Modulation Inestability) la inestabilidad es causada por la interacción entre la señal transmitida y el ruido generado por los amplificadores ópticos que manejan los sistemas WDM. Este fenómeno es provocado por efecto de la polaridad de la dispersión.

La polaridad de la dispersión cromática para las fibras de dispersión corrida no-cero es diseñada con cualquiera de las dos polaridades, ya sea positiva o negativa, dependiendo de si λ_0 ha sido recorrida para aumentar o para disminuir las longitudes de onda, respectivamente.

Las investigaciones muestran que cuando la polaridad de la dispersión es positiva (+D), la inestabilidad de la modulación puede degradar el desempeño y el alcance del sistema. Por otra parte, la inestabilidad de la modulación no se presenta si usamos las fibras de dispersión negativa (-D) en la banda de multiplexaje.

SPM Self-Phase Modulation: El mecanismo de modulación de la propia fase trabaja de la siguiente manera: el corrimiento de fase no lineal de la portadora óptica cambia con respecto al tiempo debido a que la intensidad del pulso (potencia) cambia con el tiempo, como se ve en la fig. 3.16

Los cambios en retardo son provocados debido a que la potencia de entrada varía y/o el periodo varía conforme el pulso se propaga por la fibra. Por lo tanto el corrimiento de fase no lineal se convierte en una función del tiempo.

La SPM es el cambio de frecuencia causado por un corrimiento de fase inducido por el mismo pulso.

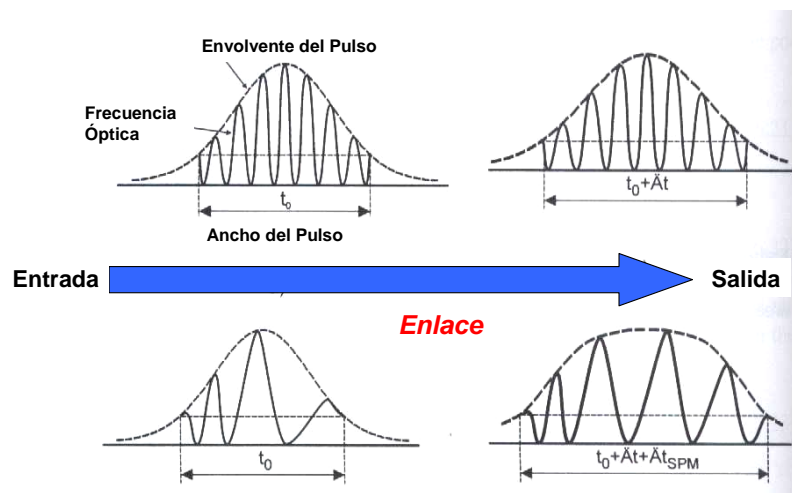


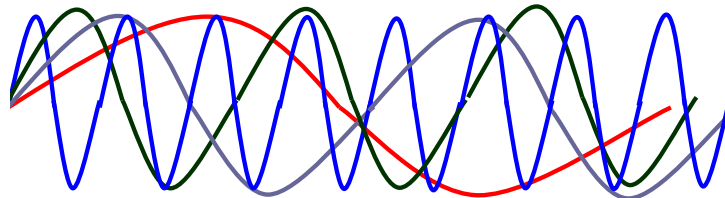
Fig. 3.16 Auto modulación en fase.

Modulación de Fase Cruzada (XPM)

Cross Phase Modulation (XPM) es la principal limitación no lineal en sistemas de un sólo canal. En un sistema multicanal se presenta otro fenómeno no lineal, la modulación de fase cruzada ó XPM, Fig. 3.17.

Éste efecto ocurre sólo en sistemas WDM. Cuando muchos pulsos ópticos se propagan dentro de la fibra simultáneamente, el corrimiento de fase no lineal del primer canal ya no depende solamente de la intensidad de éste canal, sino también de la intensidad en la señal de los otros canales.

Se trata de un fenómeno propio de los sistemas multicanal (WDM)



La intensidad de cada señal incide directamente en el desplazamiento en fase no-lineal de cada una de las otras señales que comparten el medio.

Fig. 3.17 Modulación de Fase Cruzada (XPM).

3.3 Estructura de los cables de fibra óptica

Cable de fibra por su composición hay tres tipos disponibles actualmente:

- Núcleo de plástico y cubierta plástica
- Núcleo de vidrio con cubierta de plástico (frecuentemente llamada fibra PCS, El núcleo silicio cubierta de plástico)
- Núcleo de vidrio y cubierta de vidrio (frecuentemente llamadas SCS, silicio cubierta de silicio)

Las fibras de plástico tienen ventajas sobre las fibras de vidrio por ser más flexibles y más fuertes, fáciles de instalar, pueden resistir mejor la presión, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos que el vidrio. La desventaja es su característica de atenuación alta: no propagan la luz tan



eficientemente como el vidrio. Por tanto las de plástico se limitan a distancias relativamente cortas, como puede ser dentro de un solo edificio.

Las fibras con núcleos de vidrio tienen baja atenuación. Sin embargo, las fibras PCS son un poco mejores que las fibras SCS. Además, las fibras PCS son menos afectadas por la radiación y, por lo tanto, más atractivas a las aplicaciones militares. Desafortunadamente, los cables SCS son menos fuertes, y más sensibles al aumento en atenuación cuando se exponen a la radiación.

Cable de fibra óptica disponible en construcciones básicas:

- Cable de estructura holgada y
- Cable de estructura ajustada.

Cable de estructura holgada. Consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora. El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra. Cada tubo, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente estar llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable.

Cable de tubo Holgado. El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar⁴ o un material similar. Este miembro proporciona al cable refuerzo y soporte durante las operaciones de tendido, así como en las posiciones de instalación permanente. Debería amarrarse siempre con seguridad a la polea de tendido durante las operaciones de tendido del cable, y a los anclajes apropiados que hay en cajas de empalmes o paneles de conexión.

⁴ El Kevlar® o poliparafenileno tereftalamida es una poliamida sintetizada por primera vez en 1965 por la química Stephanie Kwolek, quien trabajaba para DuPont. La obtención de las fibras de Kevlar fue complicada, destacando el aporte de Herbert Blades, que solucionó el problema de qué disolvente emplear para el procesado. Finalmente, DuPont empezó a comercializarlo en 1972. Es muy resistente y su mecanización resulta muy difícil. <http://es.wikipedia.org/wiki/Kevlar>



La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de aramida, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores. Con objeto de localizar los fallos con el OTDR de una manera más fácil y precisa, la cubierta está secuencialmente numerada cada metro (o cada pie) por el fabricante.

Tubo holgado de cable de fibra óptica. Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. El cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan.

Cable de estructura ajustada. Contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior. La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900 μm de diámetro que rodea al recubrimiento de 250 μm de la fibra óptica.

Cable de estructura ajustada. La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado directamente en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el coste de la instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por micro curvaturas.

Por una parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer lugar. Es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que



los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra.

Cable blindado. Tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno. Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada.

Cable de fibra óptica con armadura

Existen también otros cables de fibra óptica para las siguientes aplicaciones especiales:

Cable aéreo autoportante. O auto soportado es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fijador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

Cable submarino. Es un cable de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

Cable compuesto tierra-óptico (OPGW). Es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

Cables híbridos Es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

Cable en abanico. Es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conexión directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones).

3.4 Equipos de medición de fibra óptica

Un OTDR es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550 nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la FO.

Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia.

Luego se podrán medir atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, etc.

El OTDR aprovecha 2 cualidades de la fibra:

1. Esparcimiento de Rayleigh

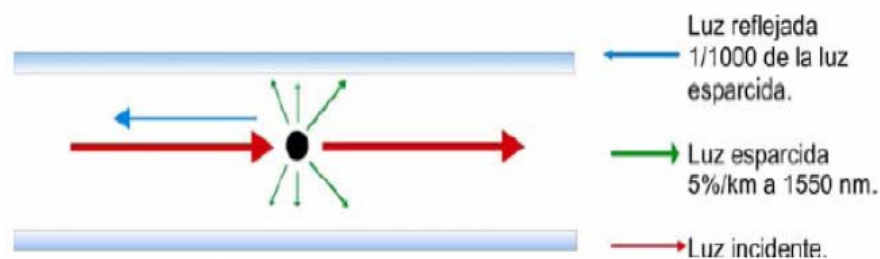


Fig. 3.18 Efectos de la luz en el Esparcimiento de Rayleigh

Debido a que el material de las fibras no es homogéneo y al estar sus partículas distribuidas aleatoriamente la luz tiende a dispersarse en todas direcciones.

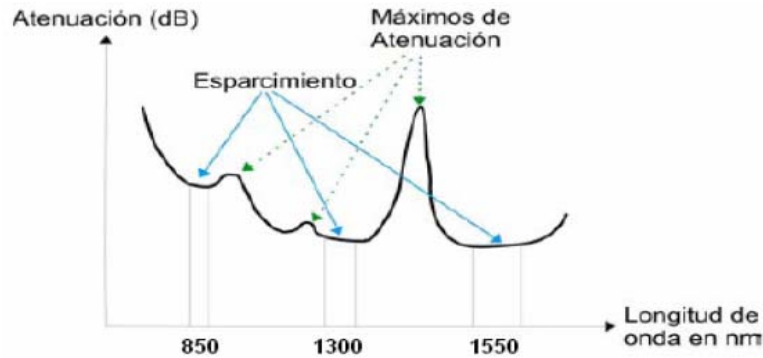


Fig. 3.19 Grafica de atenuación vs. Longitud de onda del Esparcimiento Rayleigh.

Es de gran importancia tener claro el largo de onda a utilizar en el momento de la exploración; ya que como vemos, obtendremos resultados diferentes en cada ventana de operación, debido a las distintas atenuaciones en cada una de ellas.

2. Reflexión de fresnel

Las ecuaciones de Fresnel, también conocidas como fórmulas de Fresnel, son un conjunto de relaciones matemáticas que relacionan las amplitudes de las ondas reflejadas y refractadas (o transmitidas) en función de la amplitud de la onda incidente. Su nombre hace honor al físico francés Augustin-Jean Fresnel, quien estudió el comportamiento de la luz al desplazarse entre medios que tienen índices de refracción distintos⁵.

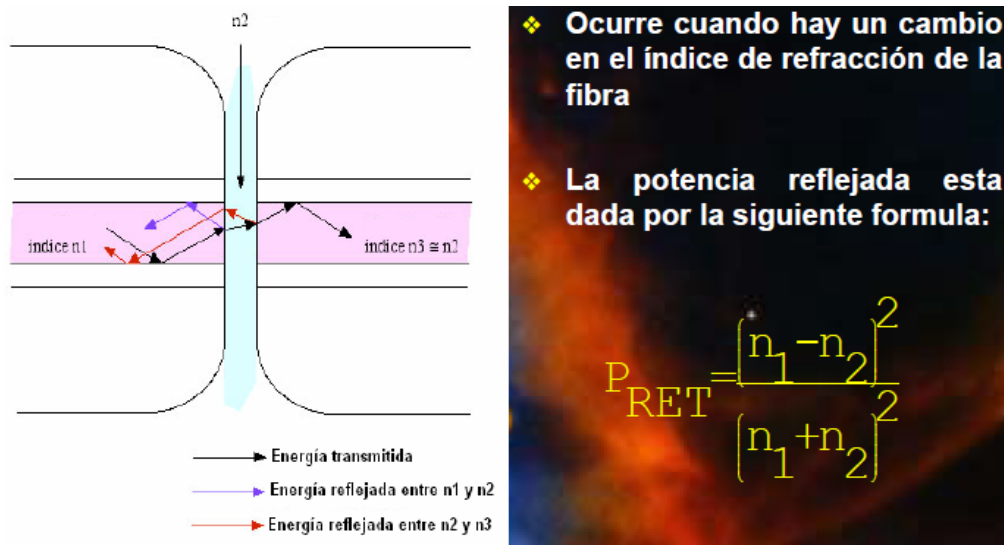


Fig. 3.20 Reflexión de fresnel

⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones_de_Fresnel

El OTDR aprovecha los fenómenos presentes en la F.O. para analizar y entregar un resumen detallado de la situación. Para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra óptica a lo largo de toda su longitud se utiliza un reflectómetro óptico en el dominio en tiempo (OTDR). El OTDR dibuja esta característica en su pantalla de forma gráfica, mostrando las distancias sobre el eje X y la atenuación sobre el eje Y. A través de esta pantalla se puede determinar información tal como la atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de las anomalías.

- El generador de pulsos alimenta al diodo láser, que convierte señal eléctrica a luz.
- La función del acoplador es separar la señal enviada de la señal devuelta.
- La señal que pasa por el acoplador alimenta al fotodiodo, el cual convierte la señal óptica a eléctrica.
- Posteriormente se realiza la conversión analógica a digital de la señal.
- Finalmente, luego del procesamiento digital el resultado es enviado a pantalla.

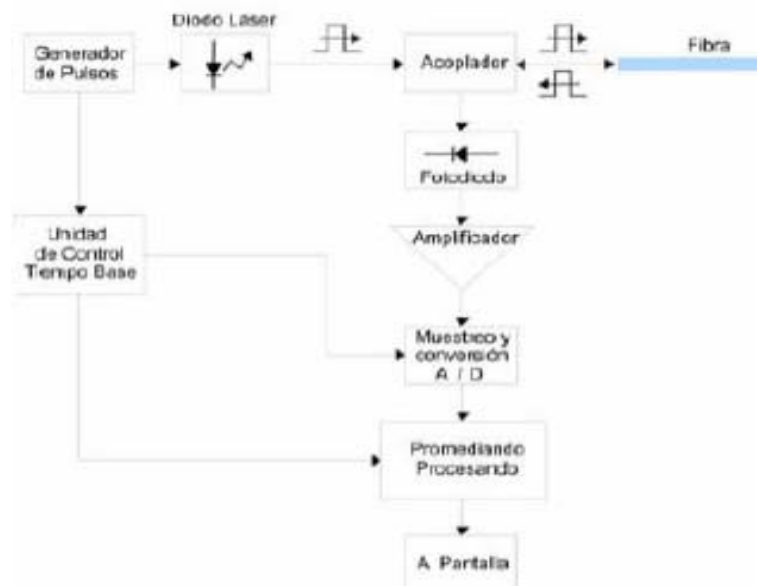


Fig. 3.21 diagrama a bloques de un otdr.

Especificaciones de un otdr

Rango dinámico Determina la longitud máxima observable de la fibra y por lo tanto la capacidad del OTDR para analizar alguna conexión Fig. 3.22.

La figura superior muestra un rastro obtenido en 180 segundos con un OTDR de rango dinámico bajo. La figura de más abajo muestra un rastro obtenido en 10 segundos con un rango dinámico alto

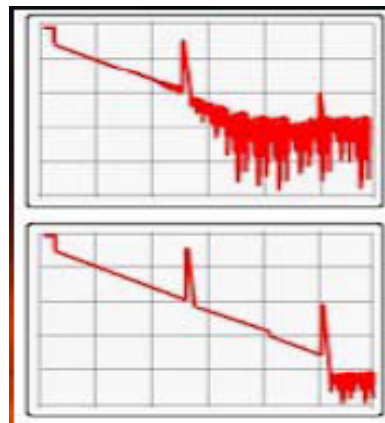


Fig. 3.22 Rango dinámico de un OTDR.

Zona muerta. El fotodiodo al recibir un pulso requiere un tiempo para recuperarse de la saturación. El largo de la fibra que no es completamente caracterizado durante el tiempo de recuperación es conocido como zona muerta.

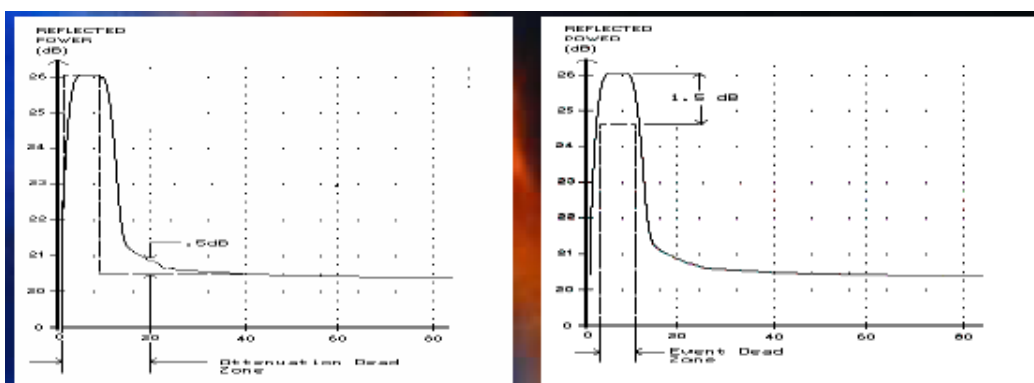


Fig. 3.23 Grafica de zona muerta.



Resolución. Es la distancia mínima entre dos puntos de adquisición, mientras menor es esta distancia mayor el número de puntos de adquisición entonces mayor exactitud en la información obtenida. Depende del ancho del pulso.

Existen 3 tipos de resoluciones:

- **Resolución de Despliegue:** La resolución de lectura es la mínima resolución del valor mostrado. La resolución de cursor es la mínima distancia o atenuación entre 2 puntos mostrados (valor típico 6[cm] ó 0.01[dB])
- **Resolución de Perdida:** Se define como la mínima diferencia de pérdida entre 2 niveles de ganancia.
- **Resolución de Muestreo:** Es la distancia mínima entre 2 niveles de adquisición de datos, entre menor sea esta distancia, mejor será la resolución.

El ensayo mediante el OTDR es el único método disponible para determinar la localización exacta de las roturas de la fibra óptica en una instalación de cable óptico ya instalado y cuyo recubrimiento externo no presenta anomalías visibles.

Es el mejor método para localizar pérdidas motivadas por empalmes individuales, por conectores, o por cualquier anomalía en puntos concretos de la instalación de un sistema. Permite determinar si un empalme está dentro de las especificaciones o si se requiere rehacerla.

Cuando está operando el OTDR envía un corto impulso de luz a través de la fibra y mide el tiempo requerido para que los impulsos reflejados retornen de nuevo al OTDR. Conociendo el índice de refracción y el tiempo requerido para que lleguen las reflexiones, el OTDR calcula la distancia recorrida del impulso de la luz reflejada.



OLTs. Por sus siglas en inglés (Optical Loss Testers) son equipos de medición de redes ópticas. Concretamente son dos, un medidor de potencia y una fuente de luz.

La fuente de luz nos da una potencia promedio, la cual viajara a través de la F.O. perdiendo potencia en todo el trayecto.

El medidor de potencia nos muestra la atenuación generada por conectores, dobleces, curvaturas, empalmes y cualquier otro desperfecto que tenga la fibra, generando el valor de la pérdida de señal (Atenuación) medida tanto en dBm como en dB.

3.5 Conectores de fibra óptica

Los conectores ópticos constituyen, quizás, uno de los elementos más importantes dentro de la gama de dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico, siendo su misión, junto con el adaptador, la de permitir el alineamiento y unión temporal y repetitivo, de dos o más fibras ópticas entre sí y en las mejores condiciones ópticas posibles.

El adaptador es un dispositivo mecánico que hace posible el correcto enfrentamiento de dos conectores de idéntico o distinto tipo.

Las diferentes aplicaciones de fibra óptica requieren conectores para fibra aplicaciones monomodo (SM) o multimodo (MM). Esto dará lugar a mejorar los adaptadores para las férulas de menor o mayor diámetro; lo que origina gamas especiales de conectores para cada aplicación, incluso dentro de los mismos modelos; y a tecnologías específicas de montaje en cada caso.

En el diseño e instalación de un sistema para transporte de información (STI) los conectores de fibra óptica constituyen uno de los elementos fundamentales para un desempeño confiable y apegado a estándares, los cuales marcan estrictas



especificaciones de desempeño óptico y mecánico que deben reunir estos dispositivos.

La línea de conectores de fibra óptica proporciona a usted una gama de posibilidades sin comparación, los cuales le permitirán desarrollar sus instalaciones y cubrir las más exigentes necesidades de desempeño óptico marcadas por los estándares ya mencionados y muchos otros.

Los primeros modelos de conectores (SMA, Bicónico) fueron reemplazados por los modelos Standard ST (Straight Tip) para MM y FC (Fiber Connector) para fibra SM. Los primeros conectores eran de cuerpo y férula de diversos materiales (plásticos, polímeros, etc.), si bien los mejores conectores con cuerpo metálicos y férula de cerámica.

Posteriormente, y para conseguir una mayor densidad de fibras en los repartidores, se desarrolló el conector SC (Subscriber Connector o Standard Connector), con cuerpo plástico con mecanismo tipo Push-Pull para proteger la férula de cerámica. La fijación al adaptador tiene lugar mediante un sistema de clip, y su perfil cuadrado puede ser acoplado con mayor facilidad.

Tomando en cuenta los conectores se podrían clasificar tres grandes áreas, conectores estándar o comunes, los conectores SFF (Small Form Factor) y los conectores multifibra. Con el paso del tiempo los conectores han evolucionado conforme a las nuevas tecnologías y en aplicaciones específicas tales como SMA, FDDI, BICONIC, DIN, D4, E2000, ESCON y VF-45. Hoy en día en los conectores estándar o comunes se identifican por la férula de 2.5mm en el cual se agrupan los conectores: ST, SC y FC; en la clasificación de conectores SFF (Small Form Factor) el tamaño de la férula es de 1.25mm en la cual están incluidos los conectores: LC y MU, dentro de la clasificación de los conectores multifibra están los siguientes: MT-RJ, MTP y MPO.



El uso de conectores SFF en su red de fibra puede ahorrar espacio y dinero. Sin embargo, elegir el tipo de uso puede ser un desafío. Dado que las redes de fibra configurada con conectores SFF requieren menos espacio en los armarios, y son significativamente más baratos. Los conectores SFF también aumentan la densidad de puertos en los dispositivos electrónicos (como las tarjetas de interfaz de red, switches y hubs), haciéndolos menos costosos y aumentar la probabilidad de nuevas aplicaciones. Los conectores SFF también son cuidadosamente diseñados para la terminación de campo rápido. Sin embargo, la mayoría requieren conjuntos de herramientas especiales para la instalación y transceptores de diseño especial.

Es importante conocer la variedad de opciones en tecnologías para montaje de conectores que incluyen el tradicional método de resina epóxica, o el uso del adhesivo con base poliamida. Otra importante alternativa lo representan los conectores de montaje mecánico (crimpeables).

La variedad de tipos de conectores le permitirá cubrir sus más importantes necesidades de instalación de sistemas de fibra óptica.

Los conectores de fibra óptica de la línea con base poliamida son únicos dentro de los conectores adhesivos, estos conectores tienen incluido dentro del cuerpo un adhesivo base poliamida de alto desempeño pero que no es agresivo con la fibra y la férula de los conectores, facilitando sustancialmente el proceso de preparación del conector y contribuyendo a un mejor desempeño óptico del producto. El tener el adhesivo ya listo dentro del conector reduce sustancialmente el precio y el tiempo de preparación repercutiendo positivamente en los costos y tiempos de un proyecto.

3.5.1 El pulido de las férulas

El acabado de las férulas de los conectores ópticos se realiza aplicando diversas tecnologías de pulido, denominadas habitualmente como "terminación".



En los primeros conectores iniciales no sujetaban a la férula, podía girar dentro de los acopladores y preveía un espacio libre entre sus extremos (cámara de aire o Air Gap) para evitar marcas o desperfectos como consecuencia de estos movimientos.

Al contar con los conectores ST y FC, el cuerpo de los conectores sujetan firmemente las férulas, se procede a conectorizar los conectores y tener un acabado de tipo PC (Physical Contact) para minimizar la atenuación, normalmente de pulido plano para MM y esférico para SM.

Al aparecer en el mercado los sistemas de alta sensibilidad a la reflexión de señal (CATV o sistemas Telecom de alta velocidad), y con el fin de maximizar las pérdidas de retorno, se perfeccionan los sistemas de terminado, desarrollando la tecnología UPC (con pérdidas de retorno >55 dB), mejorando los sistemas de terminado en tipo APC (> 65 dB) que consiste en dotar al extremo esférico de la férula de un ángulo de 8° que desviará al revestimiento todas aquellas reflexiones que no coincidan con el modo principal.

3.5.2 Tipos de conectores

ST. Los conectores ST fueron creados en los 80's por AT&T y deriva del inglés "Straight Tip", tienen un diseño tipo bayoneta que permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador. Su mecanismo de acoplación tipo "Empuja y Gira" asegura que el conector no tenga deslizamientos y desconexiones. El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos rotatorios. El ST ha sido el conector más popular en las redes de área local (LAN) por su buena relación calidad-precio.

SC. Los conectores SC, tienen un diseño versátil que permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador. Su mecanismo de acoplación tipo "Push Pull" lo asegura al adaptador de manera sencilla. El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos. El conector SC es el



más popular tanto en LAN como en redes de transporte: operadoras telefónicas, CATV.

FC. Los conectores FC fueron creados en los 80`s por NTT por su nombre en ingles "Fiber Connection", tienen un diseño versátil tipo rosca que permite asegurar y alinear el conector de manera firme en el adaptador. Su mecanismo de acoplación tipo Rosca asegura que el conector no tenga deslizamientos o desconexiones.

El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos. Las partes de los conectores son: Férula (Cilindro que rodea la fibra a manera de PIN), Cuerpo (Es la base del conector), Ojillo de crimpado⁶ (Es el que sujeta la fibra al conector), Bota (Es el mango del conector).

LC. Desarrollados en 1997 por Lucent Technologies, los conectores LC tienen un aspecto exterior similar a un pequeño SC, con el tamaño de un RJ 45 y se presentan en formato Simplex o Dúplex, diferenciándose externamente los de tipo SM de los de tipo MM por un código de colores. El LC es un conector de alta densidad SFF diseñado para su uso en todo tipo de entornos: LAN, operadoras de telefónicas, CATV.

3.6 Cálculo de un enlace de fibra óptica

Para calcular la pérdida estimada de un enlace, es necesario saber la atenuación (dB/Km) que nos da el fabricante. También dependerá mucho de que fibra se esté usando MM o SM.

En caso de no conocer la atenuación por kilómetro de la fibra, se podrá tomar el valor que nos da ANSI.

⁶ **Corrugar** es la unión de dos piezas metálicas o de otros materiales maleables mediante la deformación de una o ambas piezas; esta deformación es lo que las mantiene unidas. Para esta tarea existen herramientas de uso específico llamadas pinzas de compresión o *crimpeadoras*. Esta técnica suele usarse para unir conectores (F, BNC) y cables (coaxial, de par trenzado) de telecomunicaciones. Es usual encontrar los anglicismos *crimpar* y *crimpear*, derivados del verbo inglés *crimp*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Crimpado>



Si es Fibra MM trabajando a 850nm (Longitud de Onda) la atenuación por kilometro será de 3.5 dB/Km, si trabaja a 1300nm (longitud de Onda) la atenuación será de 1.5 dB/Km.

Si la fibra es SM tomaremos los siguientes valores, 1.0 dB/Km si la fibra es instalada en Planta Interna y 0.5 dB/Km si la fibra es instalada en Planta Externa.

Paso 1.- Multiplicar la longitud del cable por la atenuación del fabricante o de ANSI

Ejemplo: 800mts de fibra MM a 850nm ANSI - 3.5dB/Km

$$0.8\text{km} \times 3.5\text{dB/Km} = 2.8\text{dB}$$

Paso 2.- Multiplicar la atenuación de cada conector dentro del enlace (por hilo) 1 par de conectores es igual a un Acoplador, un acoplador tiene un valor de 0.5dB

Ejemplo: 2 conectores ST; 2 ST = 1 Acoplador = 0.5dB

Paso 3.- sumar los Empalmes mecánicos o por fusión que se encuentren dentro del enlace.

Ejemplo: 3 Empalmes por Fusión; 1 empalme = 0.3dB

$$3 \times 0.3\text{dB} = 0.9\text{dB}$$

Paso 4.- hay que agregar un margen de reparación (dependiendo de la distancia y condiciones de instalación) aquí se pueden agregar 1 o 2 dB de margen, contemplando alguna reparación extra en la instalación

Paso 5.- Sumar todos los valores Paso 1 + Paso 2 + Paso 3 + Paso 4 =
Atenuación del Cableado Pasivo

3.7 Tipos de conectorización de la fibra óptica

Existen varios métodos de conectorización para la fibra óptica, aunque dependerá mucho de la marca.

1. **Epóxico.** (curado de 110° a 120°) En este método se debe tener una resina y un endurecedor, que se deben mezclar por un lapso no menor a 2



minutos, posteriormente se debe dejar reposar por un lapso de 15 minutos antes de su aplicación y curado, este deberá ser a una temperatura de 110° a 120° durante 7-8 minutos.

2. **Crimpeado (Pre pulido).** En este método se debe contar con una pinza especial creada por AMP dado que este proceso solo es aplicable con su marca de conectores, en este método se excluye el epóxico dado que el crimpeo se hace a base de presión de una herramienta especializada.
3. **Hot Melt (3M)** En este método el epóxico ya viene integrado en los conectores ya endurecido, el horno solo lo vuelve maleable para poder introducir la fibra, para posteriormente volver a su estado normal para darle el terminado.
4. **Curado en Frío (anaeróbico).** Éste método es muy parecido al primero, pero en este caso solo se mezcla la resina y el endurecedor y no es necesario el curado ya que este se endurecerá en un lapso de 4 a 5 segundos dependiendo del endurecedor elegido.

Estos cuatro métodos son los más comunes.

Emisores y receptores de fibra óptica. Entre los emisores ópticos tenemos a los diodos LED y los diodos LASER.

Diodos LED. Son fuentes de luz con emisión espontánea o natural (no coherente), son diodos semiconductores de unión p-n que para emitir luz se polarizan directamente.

La energía luminosa emitida por el LED es proporcional al nivel de corriente de la polarización del diodo.

Existen dos tipos de LED:

- LED de superficie que emite la luz a través de la superficie de la zona activa.
- LED de perfil que emite a través de la sección transversal (este tipo es mas direccional)

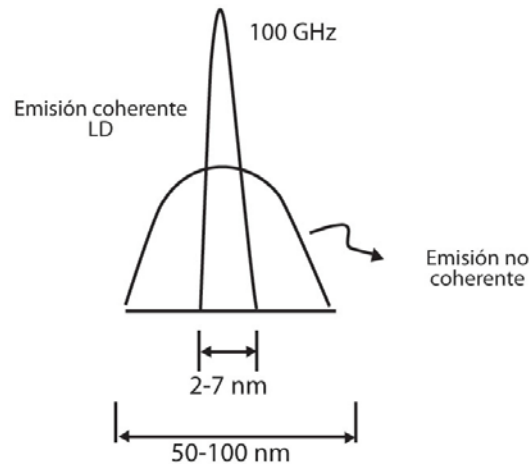


Fig. 3.24 Diodo Led.

Diodos LASER (LD). Son fuentes de luz coherente de emisión estimulada con espejos semireflejantes formando una cavidad resonante, la cual sirve para realizar la retroalimentación óptica, así como el elemento de selectividad (igual fase y frecuencia).

La emisión del LD es siempre de perfil, estos tienen una corriente de umbral y a niveles de corriente arriba del umbral la luz emitida es coherente, y a niveles menores al umbral el LD emite luz incoherente como un LED. La fig. 3.18 muestra una comparación de los espectros emitidos por un LED y un LD. Como las características de los espejos son funciones tanto de la temperatura, como de la operación; la característica potencia óptica- corriente de polarización es función de la temperatura y sufre un cierto tipo de envejecimiento. Una representación gráfica de la corriente de umbral, del proceso de envejecimiento se ilustra en la fig. 3.25

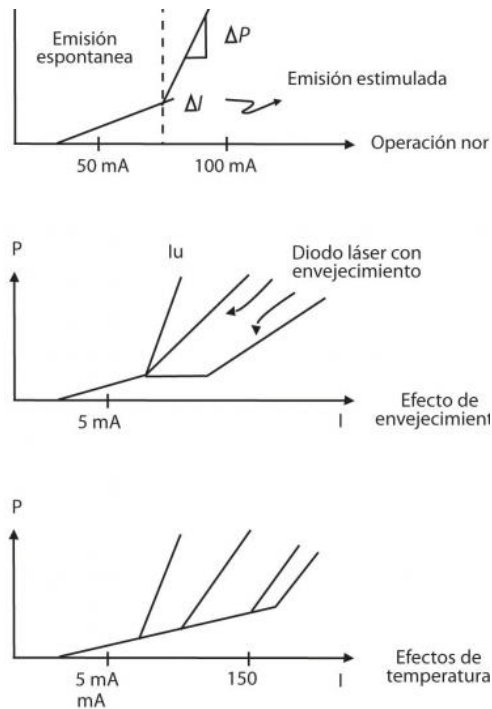


Fig. 3.25 Corriente de umbral.

Receptores ópticos. El propósito del receptor óptico es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector. En los sistemas de transmisión analógica el receptor debe amplificar la salida del fotodetector y después demodularla para obtener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor debe producir una secuencia de pulsos (unos y ceros) que contienen la información del mensaje transmitido.

Fotodetector. Convierte la potencia óptica incidente en corriente eléctrica, esta corriente es muy débil por lo que debe amplificarse. Las características principales que debe tener son:

- Sensibilidad alta a la longitud de onda de operación
- Contribución mínima al ruido total del receptor
- Ancho de banda grande (respuesta rápida)



3.8 Atenuación de la fibra óptica

Significa la disminución de potencia de la señal óptica, en proporción inversa a la longitud de fibra. La unidad utilizada para medir la atenuación en una fibra óptica es el decibel (dB).

- La atenuación de la fibra se expresa en dB/Km. Este valor significa la pérdida de luz en un Km.
- Los factores que influyen en la atenuación se pueden agrupar en dos.
- Factores propios.- Podemos destacar fundamentalmente dos.

Las pérdidas por absorción del material de la fibra, son debido a impurezas tales como iones metálicos, níquel variado (OH)- , etc. ya que absorben la luz y la convierten en calor. El vidrio ultra puro usado para fabricar las fibras ópticas es aproximadamente 99.9999% puro. Aún así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000 dB/Km son típicas.

Las pérdidas por dispersión (esparcimiento) se manifiestan como reflexiones del material, debido a las irregularidades microscópicas ocasionadas durante el proceso de fabricación y cuando un rayo de luz se está propagando choca contra estas impurezas y se dispersa y refleja.

Dentro de estas pérdidas tenemos

- Pérdidas por difusión debido a fluctuaciones térmicas del índice de refracción.
- Imperfecciones de la fibra, particularmente en la unión núcleo-revestimiento, variaciones geométricas del núcleo en el diámetro
- Impurezas y burbujas en el núcleo
- Impurezas de materiales fluorescentes

Pérdidas de radiación debido a micro curvaturas, cambios repetitivos en el radio de curvatura del eje de la fibra.



Factores externos.- El principal factor que afecta son las deformaciones mecánicas. Dentro de estas las más importantes son las curvaturas, esto conduce a la pérdida de luz por que algunos rayos no sufren la reflexión total y se escapan del núcleo.

Las curvas a las que son sometidas las fibras ópticas se pueden clasificar en macro curvaturas (radio del orden de 1cm o más) y micro curvaturas (el eje de la fibra se desplaza unas decenas de micra sobre una longitud de unos pocos milímetros).

Para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra óptica a lo largo de toda su longitud se utiliza un reflectómetro óptico en el dominio en tiempo (OTDR). El OTDR dibuja esta característica en su pantalla de forma gráfica, mostrando las distancias sobre el eje X y la atenuación sobre el eje Y. A través de esta pantalla se puede determinar información tal como la atenuación de la fibra, las pérdidas en los empalmes, las pérdidas en los conectores y la localización de las anomalías.

El ensayo mediante el OTDR es el único método disponible para determinar la localización exacta de las roturas de la fibra óptica en una instalación de cable óptico ya instalado y cuyo recubrimiento externo no presenta anomalías visibles. Es el mejor método para localizar pérdidas motivadas por empalmes individuales, por conectores, o por cualquier anomalía en puntos concretos de la instalación de un sistema. Permite determinar si un empalme está dentro de las especificaciones o si se requiere rehacerla.

Cuando está operando el OTDR envía un corto impulso de luz a través de la fibra y mide el tiempo requerido para que los impulsos reflejados retornen de nuevo al OTDR⁷.

⁷ <http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&t=3>



3.9 Elementos de una Red WDM

El Multiplexaje por División de Onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*) es la tecnología que se ha desarrollado como una respuesta natural a las redes de alto tráfico a nivel mundial, y que es la base para nuevos desarrollos de sistemas de transporte como lo es Multiplexaje por División de Onda Denso (DWDM, *Dense Wavelength Division Multiplexing*).

El principio básico de WDM/DWDM es abrir el espectro de luz que viaja sobre la fibra en diferentes colores o λ , cada una con capacidades de STM16. Actualmente se desarrollan aplicaciones para ampliar cada vez más el número de capas, colores o λ que vayan por una fibra.

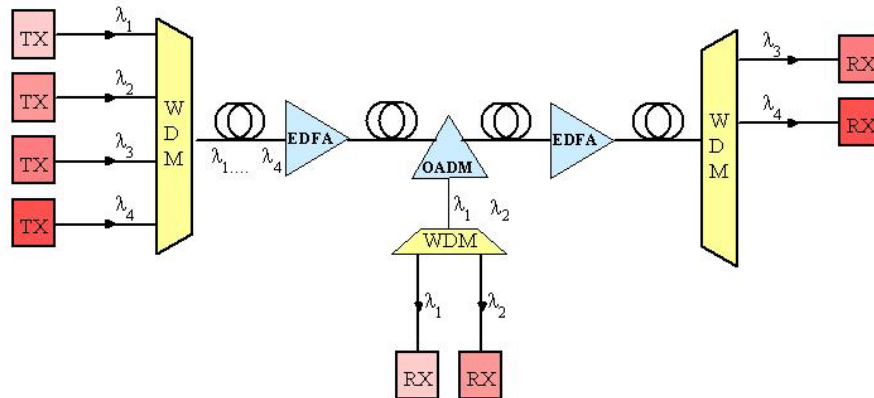
WDM es la técnica de enviar varios canales de longitudes de onda diferentes (haz de luces de diferentes colores) sobre la misma fibra.

WDM permite incrementar la capacidad de una fibra óptica transportando simultáneamente más de una longitud de onda, con lo cual se explota más eficientemente el ancho de banda de la fibra, (el multiplexaje consiste en transmitir varias señales ópticas en una sola fibra a diferente longitud de onda por ejemplo dos señales a 1530 nm y una señal a 1550 nm, cada una portando independientemente 155 Mb/s sobre la misma fibra y en la misma dirección).

En el extremo distante las señales son separadas por longitudes de onda.

Actualmente los sistemas WDM básicamente están conformados por un transponder en lado transmisor, un multiplexor, uno o más amplificadores de fibra dopadas con erbio (EDFA), multiplexores ópticos de inserción extracción (OADM), obsérvese la fig. 3.26

Cable de fibra óptica un demultiplexor y de ser necesario la misma cantidad de transponder en el, lado receptor.



Los sistemas WDM están conformados por:

- Transponder lado transmisión
- Multiplexor
- EDFAs (Amplificadores de Fibra Dopada con Erbio)
- OADMs (Multiplexores ópticos de inserción extracción)
- Cable de fibra óptica
- Demultiplexor
- De ser necesario, todos los Transponder en el lado receptor

Fig. 3.26 Elemento de una red DWDM

La Multiplexación por Longitud de Onda Densa o DWDM, una tecnología relativa a las fibras ópticas, nos da una alternativa para enfrentar varios de los problemas que tienen los operadores de redes de telecomunicaciones, principalmente si hablamos de la saturación de las actuales capacidades de la red de transporte. DWDM es una solución propuesta para aumentar la capacidad de la red de transporte actual sin la necesidad de un costoso proceso de volver a cablear y puede reducir el costo significativamente de las actualizaciones de la red. Puede también, ofrecer nuevas opciones para todo el diseño de la red óptica si se explotaran sus capacidades sus capacidades para subir y bajar canales (add and drop). Sin embargo, las ventajas que DWDM ofrece inevitablemente tienen un precio.

Las propiedades de los componentes ópticos y las características de los cables que una vez cumplieron fácilmente para los sistemas de transmisión que usan las tecnologías actuales ya no satisfacen tan fácilmente los requerimientos de DWDM. La nueva dimensión espectral traída por este sistema requiere de nuevos criterios



para el diseño de la red y la selección de los componentes. Esto nos lleva a especificaciones más exigentes que aquellas especificaciones usadas para los sistemas actuales de SDH STM-16.

En forma simplificada, un sistema DWDM puede ser visto como un conjunto paralelo de canales ópticos, teniendo cada uno de ellos una longitud de onda de luz ligeramente diferente, pero todos ellos están compartiendo un solo medio de transmisión. Se deben cumplir con los nuevos criterios de selección que sirvan a las necesidades de este sistema.

En particular, los canales se deben tratar igual cuando van por el trayecto óptico. Éste requerimiento nos lleva a tener que hacer una cuidadosa selección espectral de las fuentes ópticas, multiplexores, demultiplexores, amplificadores ópticos e incluso la misma fibra, para poder obtener el desempeño esperado en la red entera. Los efectos de la interacción de los canales se deben también considerar para minimizar el riesgo de interacciones adversas entre los componentes de la red.

Para la utilización en un sistema DWDM, las características ópticas de estos componentes (la pérdida por inserción, la reflexión de retorno, los efectos de la polarización, etc.) deben todas ser medidas como funciones de la longitud de onda sobre la banda de espectro utilizada. Los sistemas DWDM a menudo incluyen dispositivos mucho más sofisticados que aquellos que se encuentran en los sistemas que utilizan una sola longitud de onda y pueden ser más difíciles de caracterizar apropiadamente.

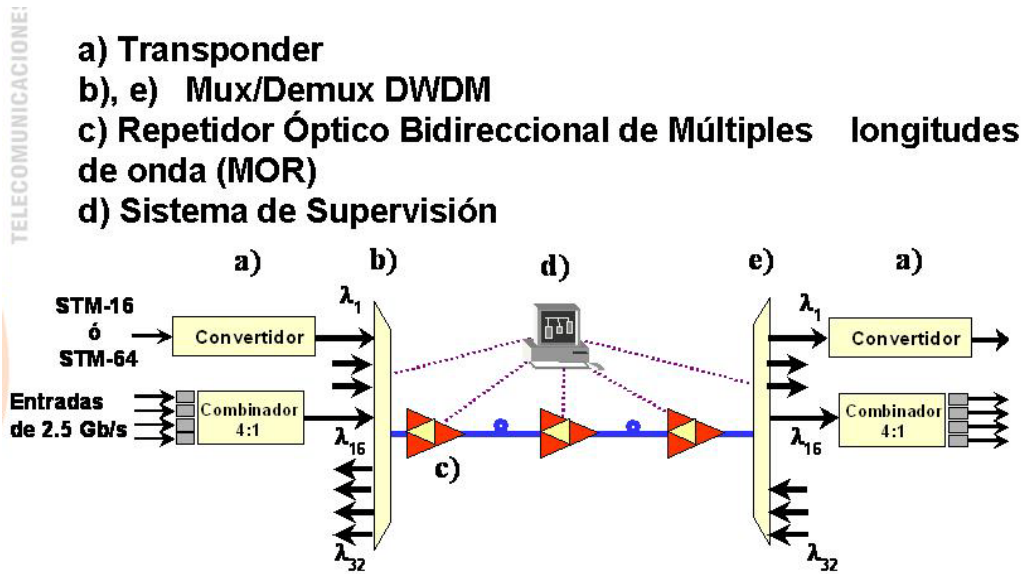


Fig. 3.27 Sistema DWDM.

Transponder. Los convertidores de longitud de onda son dispositivos óptico/eléctrico/óptico es decir la longitud de onda de entrada se convierte a eléctrica y la señal se modula nuevamente con la longitud de onda de salida.

El único requisito es que la longitud de onda de entrada al Transponder se encuentre dentro del rango especificado por el fabricante que puede ser incluso en el rango de 1270 a 1570 nm.

En cuanto a la longitud de onda de salida de cada Transponder debe ser de un valor especificado en el plan de distribución de longitudes de onda de acuerdo a la UIT.

En la técnica de combinación de longitud de onda varias señales de entrada son empaquetadas en una señal de una sola longitud de onda y a una velocidad de 10 Gb/s. Internamente existe una conversión óptica a eléctrica y una multiplexación, para posteriormente modular la señal compuesta con la longitud de onda correspondiente.

Multiplexores y Demultiplexores. Los multiplexores y demultiplexores, rejillas o filtros Bragg son algunos ejemplos de tales dispositivos. Además, se debe



determinar el impacto de los componentes activos en la calidad de la señal y su integridad (en particular en los amplificadores ópticos).

Sin embargo, se puede confiar en proveedores responsables para proveer material que haya sido probado adecuadamente en la planta de manufactura para que cumpla todas y cada una de las especificaciones individualmente. La sola instalación de muchos componentes en el campo puede degradar su desempeño en forma significativa. Aún más, las características de los componentes individuales pueden interactuar en diseños inesperados cuando se ensamblan en un sistema, tanto que, de hecho, los servicios de una red se hacen confiables solo cuando se satisfacen todos los requerimientos del sistema visto como un todo.

Los multiplexores y demultiplexores son los nuevos componentes críticos en una red DWDM. Esto se debe a que meten los distintos canales ópticos en un solo trayecto de fibra en el extremo de transmisión y los separan en el extremo de recepción.

Sus filtros pasa banda de canal deben filtran en forma exacta las longitudes de onda seleccionadas, deben estar libres de diafonía entre canales y su relación de rechazo fuera del filtro pasa banda de cada canal debe ser suficiente para eliminar a los canales adyacentes y a sus lóbulos laterales. También deben acomodar, sin una pérdida significativa de la amplitud de la señal, cualquier desviación anticipada en el centro de la longitud de onda del láser portador para cualquier canal.

Estos filtros pasa banda en la actualidad están siendo reemplazados por filtros de película delgada, las Rejillas de Difracción y la Rejilla de Fibra de Bragg.

Transmisores (LASER). En una red óptica conmutada DWDM, se requiere una política comprensiva, cuidadosamente planeada para administrar el uso de las longitudes de onda para eliminar conflictos en las asignaciones de las longitudes de onda y para minimizar posibles interacciones entre longitudes (Fig. 3.28).

El estándar internacional que ha surgido para el espaciado de la longitud de onda en este momento está en 100 GHz (unos 0.8 nm).

El diodo LED (Light Emissor Diode): se utiliza en aplicaciones de cortas distancias y bajas velocidades, por ejemplo en redes LAN de baja velocidad su ancho espectral es muy grande aproximadamente 100 nm lo que lo hace no apto para DWDM.

El láser Fabri-Perot (FP): se utilizan en la red local de Telmex, también se le conoce como

MLM (Multi-Longitudinal Mode): es decir se generan algunas longitudes de onda

más aparte de la longitud de onda central, su ancho espectral es de aproximadamente 3 nm.

El láser DFB ó SLM (Single-Longitudinal Mode): solamente genera una longitud de onda y es muy utilizado en aplicaciones de larga distancia y DWDM ya que su ancho espectral es mucho menor a 1 nm

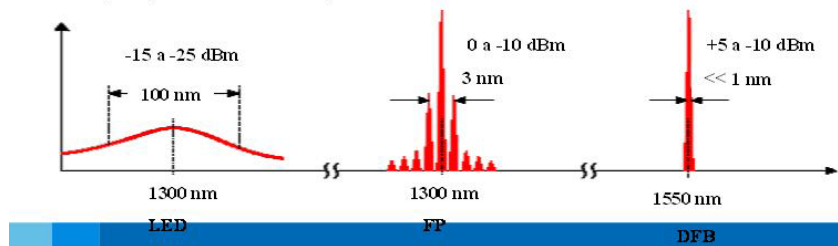


Fig. 3.28 Espectros de potencia de transmisores

Aun cuando este espaciado ofrece un buen compromiso entre capacidades más altas y especificaciones de componentes más exigentes, todo el equipo en el trayecto de transmisión requiere de más tolerancia.

Puesto que la separación de canal de 100 GHz implica anchos de banda muy estrechos, las desviaciones espectrales en los láseres de retroalimentación distribuida (que se utilizan en las fuentes de transmisión) pueden tener efectos devastadores en los niveles de la señal en el extremo receptor. Por lo tanto, son de suma importancia la estabilidad y la densidad espectral. Los lóbulos laterales también son de especial preocupación, puesto que pueden agregar ruido en los canales DWDM adyacentes.

Para lograr esta objetivo los Laser, que se están implementando cada vez más estrechos en su ancho espectral como es el caso del de los láseres de modo único longitudinal (DBF o SLM, Single Longitudinal Mode).



Amplificadores Ópticos. Los amplificadores ópticos, usualmente amplificadores de fibra dopada con Erblio o EDFAs, son claves para una operación económica de las redes DWDM. Efectúan una amplificación transparente de todos los canales, no importando los esquemas de modulación o los protocolos usados en cada uno. Su utilización quiere decir que una señal óptica modulada se puede transmitir sobre distancias muy grandes sin necesidad de recuperación y regeneración de la información transportada. Sin embargo, la dependencia de la longitud de onda de la ganancia de los EDFAs, se debe determinar y tomar en cuenta durante en diseño de la red, especialmente cuando los canales individuales atraviesan varios amplificadores.

Puesto que el ruido figura en los EDFAs individuales utilizados afectará críticamente la integridad del diseño de la transmisión. Esto determinará la cantidad de amplificadores que se pueden poner en cascada y por tanto, la distancia máxima del enlace.

Ciertas características de la fibra óptica misma son mucho más importantes para el desempeño de una red DWDM en comparación con los sistemas convencionales de los enlaces de una sola longitud de onda. Los efectos de la dispersión cromática en 1550 nm de los sistemas de transmisión TDM son bien conocidos. Estos se deben tratar con mucho más detalle en el diseño de una red DWDM.

Similarmente, la Dispersión en el Modo de Polarización (PMD, Polarization Mode Dispersion) es especialmente difícil de tratar debido a los distintos estados de polarización de la propagación de la señal a diferentes velocidades.

Puesto que no existe ningún remedio conocido para eliminar sus efectos, se debe medir y reducir el PMD, si es necesario, a través de la selección de componentes o de cambios en la topología de la red.

Repetidor Óptico Bidireccional de Múltiples Longitudes de Onda (MOR). Este dispositivo dentro de las redes ópticas ayuda a reducir significativamente la cantidad de equipo necesario en los sitios de repetición, esto se debe a un mayor rango de amplificación y al uso de cables de fibra con menor atenuación, Fig. 3.29.

Un MOR se compone básicamente de de dos EDFAs, donde uno (el de la dirección Este) trabaja en un cierto rango de la 3 era ventana de operación y el otro (el de la dirección Oeste) en otra rango de esa misma ventana.

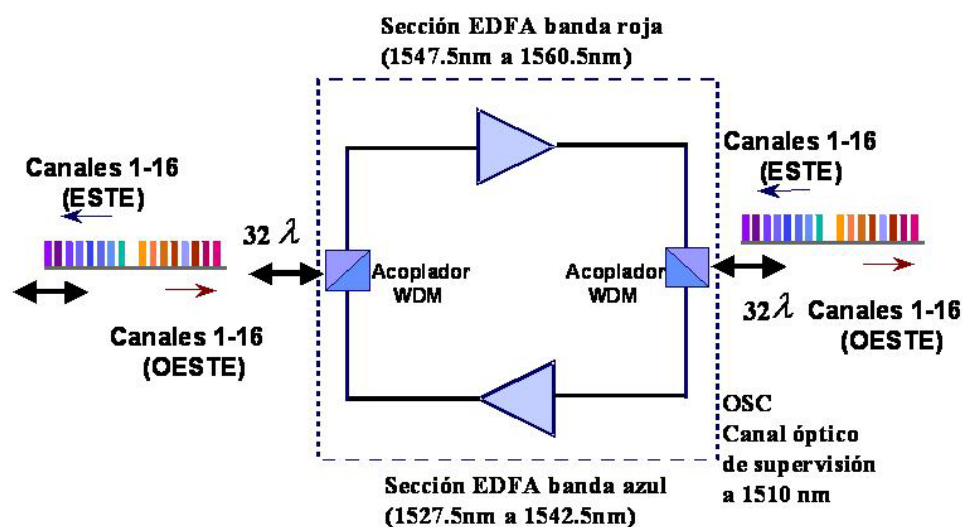


Fig. 3.29 Repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda.

Este amplificador no amplifica el Canal Óptico de supervisión.

Canal de Óptico de supervisión. El canal Óptico de Supervisión (OSC, Optical Supervisory Channel) presenta otro reto. Para facilitar el uso más eficiente de los recursos de la red y debido a que la continuidad del OSC se debe mantener aún en el caso de la falla de un EDFA.

Los operadores de DWDM generalmente asignan estos canales a longitudes de onda que están fuera del ancho de banda de operación de los EDFAs. La

separación, conversión, regeneración y reinserción de estas señales adicionales puede complicar la integración y el mantenimiento del canal OSC.

ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer). DWDM de nueva generación ROADM y WSS: Reconfigurable Optical Add-drop Multiplexer Un OADM es un dispositivo usado en sistemas WDM para multiplexar y enrutar diferentes canales de luz a la entrada y salida de una SMF (single mode fiber). Este es un tipo de nodo óptico, que se utiliza generalmente para la construcción de redes de telecomunicaciones ópticas. “Add” y “Drop” aquí se refieren a la capacidad del dispositivo para agregar uno o más canales de nuevas longitudes de onda a una señal existente WDM multi-longitud de onda, y / o bajar uno o más canales, pasando las señales a otra red. Un OADM puede ser considerado como un tipo específico de cros-conector óptico. Los ROADMs permiten gestionar el ancho de banda de las redes DWDM de una forma flexible y eficiente, suministrando y conmutando los diferentes canales DWDM en función de las necesidades de tráfico (fig.3.30). Algunos operadores de red ya han desplegado ROADMs en sus redes de larga distancia, y más recientemente lo están haciendo en el entorno metropolitano.

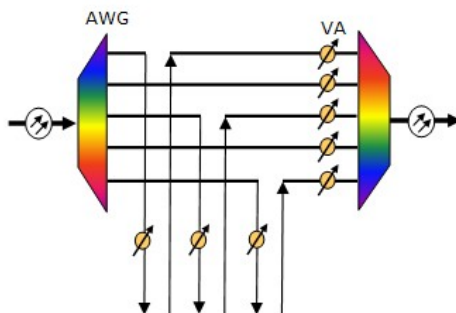


Fig. 3.30 ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).

Capítulo 4

Descripción y configuración de la red Carrier Ethernet

4.1 Tarjetas DWDM

Este capítulo explica las topologías de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) ONS 15454 SDH de Cisco, (Fig. 4.1).

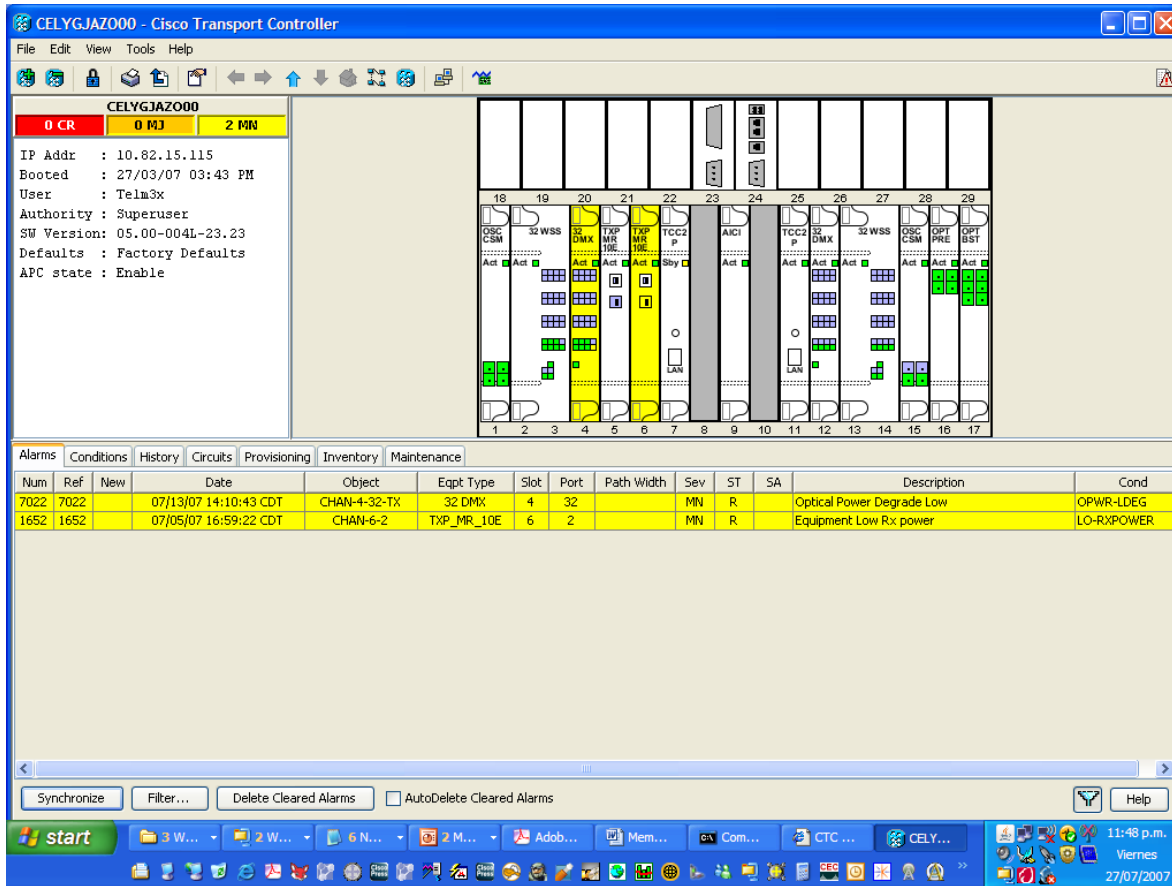


Fig. 4.1 Configuración de tarjeta en el equipo Cisco14454 para enlaces de Carrier ethernet.

La sección de descripción general de las tarjetas DWDM resume sus funciones, consumo de energía y rangos de temperatura, Cada tarjeta está marcada con un símbolo que corresponde a una ranura (o ranuras) en el chasis del ONS 15454 SDH. Las tarjetas se instalan en las ranuras que tienen símbolos similares.

Las tarjetas DWDM del ONS 15454 SDH se agrupan en las siguientes categorías:

- Las tarjetas de canal de servicio óptico proporcionan canales bidireccionales que conectan todos los nodos DWDM ONS 15454 SDH y transportan información general, sin afectar el tráfico del cliente. Las tarjetas de canal de servicio óptico ONS 15454 SDH incluyen el Módulo de canal de servicio óptico (OSCM) y el Módulo de canal de servicio óptico y Combinador/Separador (OSC-CSM).
- Las tarjetas del amplificador óptico se utilizan en los nodos DWDM amplificados, incluidos los nodos hub, los nodos de OADM amplificados y los nodos de línea amplificados. Las tarjetas se componen de tres módulos principales: un plug-in óptico, un microprocesador y un convertidor DC/DC. Las tarjetas del amplificador óptico incluyen el Pre-amplificador óptico (OPT-PRE) y el Amplificador óptico de refuerzo (OPT-BST).
- Las unidades de compensación de dispersión se instalan en el chasis de compensación de dispersión del ONS 15454 SDH, cuando las tarjetas del pre-amplificador óptico se encuentran instaladas en el nodo DWDM. Cada módulo DCU puede compensar un máximo de 65 km de tramo de fibra de modo único (SMF-28). Las DCU se pueden acoplar en serie para ampliar la compensación a 130 km.
- Las tarjetas multiplexor y demultiplexor canales ópticos DWDM multiplexor y demultiplexor. Las tarjetas se componen de tres módulos principales: Un plug-in óptico, un microprocesador y un convertidor DC/DC. Las tarjetas multiplexor y demultiplexor ONS 15454 SDH incluyen el Multiplexor de 32 canales (32 MUX-O), el demultiplexor de 32 canales (32 DMX-O) y el multiplexor/Desmultiplexor de 4 canales (4MD-xx.x).
- Las tarjetas OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) se dividen principalmente en dos grupos: tarjetas OADM de banda y OADM de canal. Las tarjetas OADM de banda insertan y extraen una o cuatro bandas de canales adyacentes; incluyen OADM de 4 bandas (AD-4B-xx.x) y OADM de 1 banda (AD-1B-xx.x). Las tarjetas OADM de canal insertan y extraen uno, dos o cuatro canales adyacentes; incluyen OADM de 4 canales (AD-4C-xx.x), OADM de 2 canales (AD-2C-xx.x) y OADM de 1 canal (AD-1C-xx.x). Las

tarjetas se componen de tres módulos principales: un plug-in óptico, un microprocesador y un convertidor DC/DC.

Tabla 4-1 enumera las tarjetas DWDM del Cisco ONS 15454 SDH.

Tarjeta	Descripción del puerto	Para obtener información adicional...
Módulos de canal de servicio óptico		
OSCM	La OSCM cuenta con un conjunto de puertos ópticos y un puerto Ethernet ubicado en la placa frontal.	Consulte la sección “Tarjeta OSCM” en la página 6-9.
OSC-CSM	La OSC-CSM tiene tres conjuntos de puertos ópticos y un puerto Ethernet ubicado en la placa frontal.	Consulte la sección “Tarjeta OSC-CSM” en la página 6-14.
Amplificadores ópticos		
OPT-PRE	El amplificador OPT-PRE tiene cinco puertos ópticos (tres conjuntos) ubicados en la placa frontal.	Consulte la sección “Amplificador OPT-PRE” en la página 6-19.
OPT-BST	El amplificador OPT-BST tiene cuatro conjuntos de puertos ópticos ubicados en la placa frontal.	Consulte la sección “Amplificador OPT-BST” en la página 6-24.

Tabla 4-2 enumera los requerimientos de energía para las tarjetas individuales.

Nombre de la tarjeta	Vatios	Amperios	BTU/hora
OSCM	Nominal 23 W	Nominal 0.48 A	Nominal 78.48 BTU
	Máximo 26 W	Máximo 0.54 A	Máximo 88.71 BTU
OSC-CSM	Nominal 24 W	Nominal 0.5 A	Nominal 81.89 BTU
	Máximo 27 W	Máximo 0.56 A	Máximo 92.12 BTU
OPT-PRE	Mínimo 25 W	Mínimo 0.52 A	Mínimo 85.3 BTU
	Nominal 30 W	Nominal 0.56 A	Nominal 102.36 BTU
	Máximo 39 W	Máximo 0.81 A	Máximo 88.71 BTU
OPT-BST	Nominal 30 W	Nominal 0.63 A	Nominal 102.36 BTU
	Máximo 39 W	Máximo 0.81 A	Máximo 88.71 BTU
32 MUX-0	Nominal 16 W	Nominal 0.33 A	Nominal 54.59 BTU
	Máximo 25 W	Máximo 0.52 A	Máximo 85.3 BTU
32 DMX-0	Nominal 16 W	Nominal 0.33 A	Nominal 54.59 BTU
	Máximo 25 W	Máximo 0.52 A	Máximo 85.3 BTU

4.2 Tarjeta OSCM

El canal de servicio óptico (OSC) es un canal bidireccional que conecta todos los nodos en un anillo. El canal transporta el OSC adicional que se utiliza para administrar las redes DWDM del ONS 15454 SDH.

El OSC utiliza una longitud de onda de 1.510 nm y no afecta el tráfico del cliente. El objetivo principal de este canal es realizar sincronización de reloj y comunicaciones de canal de voz para la red DWDM.

También proporciona enlaces transparentes entre cada nodo de la red. El OSC es una señal formateada STM-1.

Existen dos versiones de módulos del OSC: la OSCM y la OSC-CSM, que contiene un módulo combinador y separador, además del módulo del OSC. Para obtener información sobre la OSC-CSM, consulte la sección “Tarjeta OSC-CSM”, La Fig. 4-2 muestra la placa frontal de la OSCM.



Fig. 4.2 Placa frontal de la OSCM.

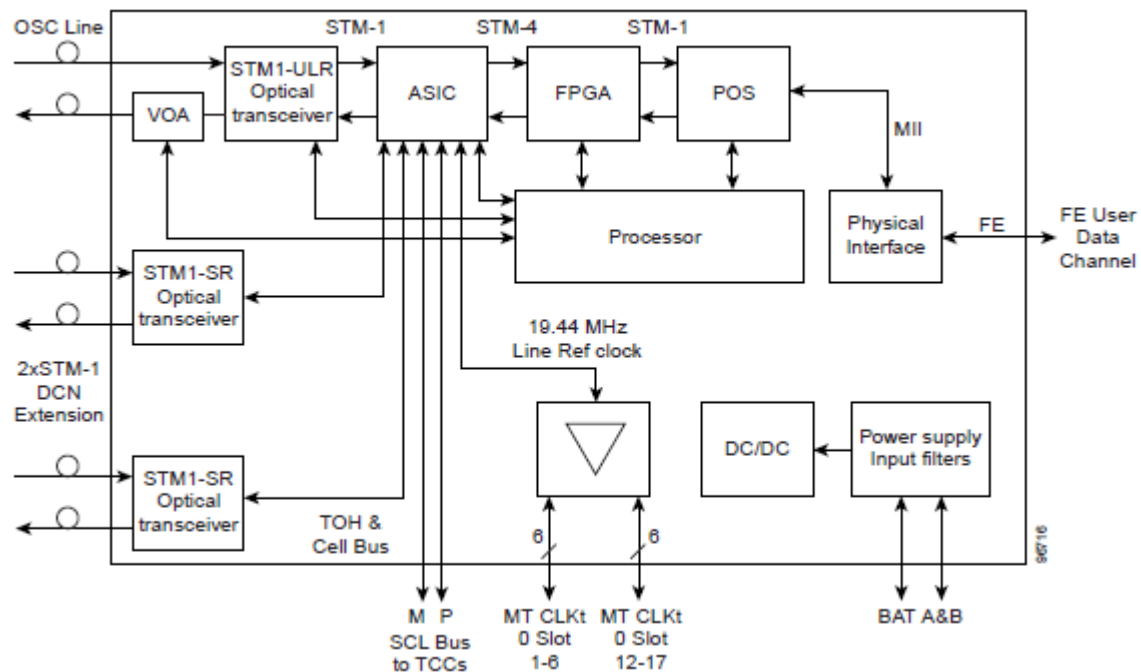


Fig. 4.3 Diagrama de bloques de la OSCM.

La OSCM se utiliza en nodos amplificados que incluyen el amplificador de refuerzo OPT-BST. El OPT-BST incluye el componente combinador y separador de longitud de onda del OSC requerido. La OSCM no puede ser utilizada en nodos en los cuales se usan tarjetas STM-N, tarjetas eléctricas o tarjetas cross-conectoras. La OSCM usa las Ranuras 8 y 10, que también son ranuras de tarjetas cross-conectoras.

La OSCM admite las siguientes características:

- OSC formateado STM-1
- Canal de datos supervisor (SDC) reenviado a las tarjetas TCC2 para procesamiento
- Distribución de reloj sincrónico para todos los nodos en el anillo
- Canal de datos del usuario (UDC) 100BaseT FE
- Funciones de supervisión, tales como admisión de canal de voz y seguridad óptica

Los bytes adicionales del canal de comunicaciones de datos (SDCC) de la sección STM-1 se utilizan para las comunicaciones de red. Un transceptor óptico termina la STM-1, que luego se regenera y se convierte en una señal eléctrica. Los bytes del SDCC se reenvían a las tarjetas TCC2 activas y en espera para procesamiento, por medio del conector del enlace de comunicación del sistema (SCL) en el backplane (panel posterior). Los bytes del canal de voz (E1, E2, F1) también se reenvían, a través del conector del SCL, a las TCC2 para su posterior reenvío a la tarjeta AIC-I.

La porción de sobrecarga de la STM-1 se utiliza para transportar el UDC de Fast Ethernet. El marco se envía a un bloque de procesamiento POS, que extrae los paquetes Ethernet y los pone a disposición en el conector RJ-45.

La OSCM, que reside en las ranuras cross-conectoras y sigue la arquitectura del backplane (panel posterior) del ONS 15454 SDH, distribuye la información del reloj de referencia, al eliminar la señal entrante STM-1 y después enviarla a las tarjetas DWDM. Las tarjetas DWDM reenvían luego la información del reloj a las tarjetas TCC2 activas y en espera.

La tarjeta OSCM tiene tres indicadores LED en el ámbito de la tarjeta, que se describen en la Tabla 4-2.

Tabla 4.3 Indicadores en el ámbito de tarjetas OSCM

Indicadores en el ámbito de la tarjeta	Descripción
Indicador LED FAIL rojo (de falla)	El indicador LED FAIL rojo señala que el procesador de la tarjeta no está listo, o que existe una falla de hardware interna. Reemplace la tarjeta si el indicador LED FAIL persiste.
Indicador LED ACT verde	El indicador LED ACT verde señala que la OSCM está transportando tráfico o que se encuentra lista para el tráfico.
Indicador LED SF ámbar	El indicador LED SF ámbar muestra una falla de señal o una condición tal como LOS, LOF, AIS-L o BER alto, en uno o más puertos de la tarjeta. El indicador LED SF ámbar se enciende también cuando las fibras de transmisión y recepción están conectadas incorrectamente. Cuando las fibras están conectadas en forma correcta, la luz permanece apagada.

La tarjeta OSCM tiene las siguientes especificaciones:

- Línea
 - ✓ Velocidad binaria: 155 Mbps
 - ✓ Código: Sin retorno a cero (NRZ) codificado
 - ✓ Modos de retrobucle: Ninguno
 - ✓ Conector: Dúplex LC
 - ✓ Cumplimiento: Telcordia GR-253-CORE, ITU-T G.957
- Señal del OSC del transmisor
 - ✓ Energía de salida máxima del transmisor: -1 dBm
 - ✓ Energía de salida mínima del transmisor: -5 dBm
 - ✓ Longitud de onda nominal: 1510-nm ± 10 nm
 - ✓ Es necesario contar con un atenuador óptico variable (VOA) en la ruta de
 - ✓ transmisión, a fin de ajustar el nivel de energía óptica en la fibra
- Señal del OSC del receptor
 - ✓ Nivel máximo del receptor: -8 dBm a 10^{-10} BER
 - ✓ Nivel mínimo del receptor: -40 dBm a 10^{-10} BER
 - ✓ Presupuesto del tramo: Presupuesto del tramo de 40-dB (alrededor de 150 km, suponiendo que una pérdida de ruta de la fibra es igual a 0.25 dB/km)
 - ✓ Tolerancia de fluctuación: Cumplimiento GR-253/G.823
 - ✓ Ambiental
- Temperatura de operación: C-Temp: -5 a $+55$ grados Celsius ($+23$ a $+131$ grados Fahrenheit)
 - ✓ Humedad de operación: 5 a 95%, sin condensación
- Dimensiones
 - ✓ Altura: 321.3 mm (12.65 pulgadas)
 - ✓ Ancho: 23.4 mm (0.92 pulgadas)
 - ✓ Profundidad: 228.6 mm (9.00 pulgadas)

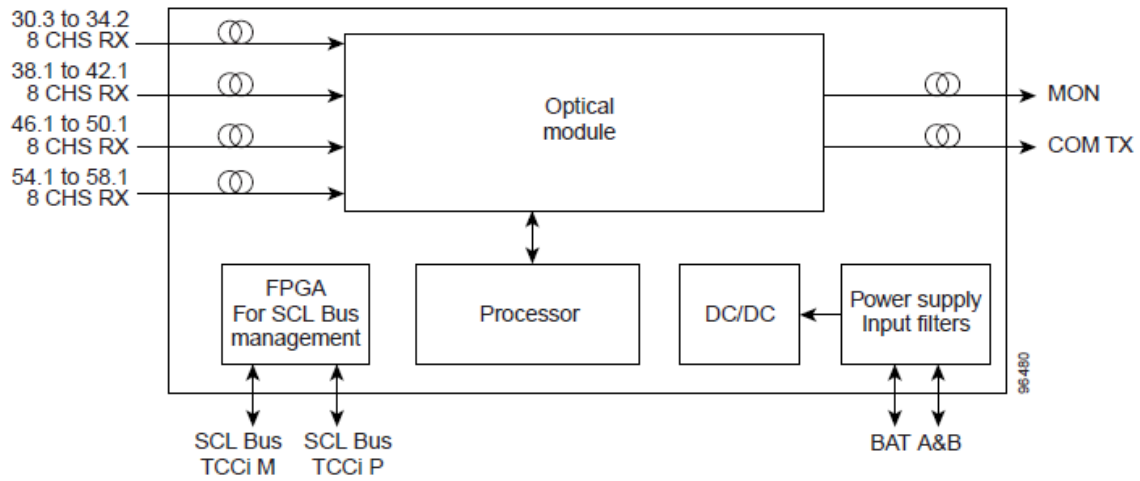


Fig. 4.5 Diagrama de bloques de la 32 Mux-0

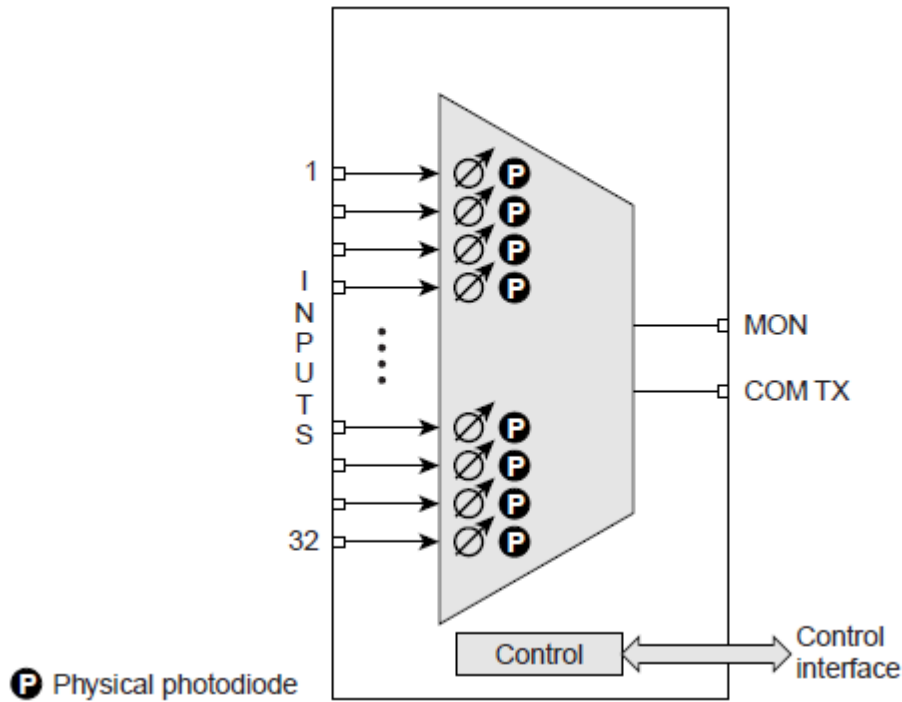


Fig. 4.6 Diagrama de la función óptica de la 32 Mux-0.

La tarjeta 32 MUX-O tiene tres indicadores LED en el ámbito de la tarjeta, que se describen en la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Indicadores en el ámbito de la tarjeta 32 Mux-O

Indicadores en el ámbito de la tarjeta	Descripción
Indicador LED FAIL rojo (de falla)	El indicador LED FAIL rojo señala que el procesador de la tarjeta no está listo, o que existe una falla de hardware interna. Reemplace la tarjeta si el indicador LED FAIL persiste.
Indicador LED ACT verde	El indicador LED ACT verde señala que la 32 MUX-O está transportando tráfico o que se encuentra lista para el tráfico.
Indicador LED SF ámbar	El indicador LED SF ámbar muestra una falla de señal, en uno o más puertos de la tarjeta. El indicador LED SF ámbar se enciende también cuando las fibras de transmisión y recepción están conectadas incorrectamente. Cuando las fibras están conectadas en forma correcta, la luz permanece apagada.

Tabla 4.5 Especificaciones de la tarjeta 32 MUX-O

Parámetro	Nota	Condición	Mín.	Máx.	Unidades
Forma del filtro de Tx (-1 dB de ancho de banda)	Todo SOP y dentro del rango de temperatura de operación	In 1/32 – Out BOL	+/- 180	+/- 300	pm
		In 1/32 – Out EOL	+/- 160		
Pérdida de inserción	Todo SOP y dentro del rango de temperatura de operación	In 1/32 – Out BOL	4	8.0	dB
		In 1/32 – Out EOL		8.5	
Rango dinámico del VOA	—	—	25		dB
Índice de corte de conexión de supervisión óptica en el puerto de supervisión	Puerto de supervisión óptica con respecto al puerto de salida en multiplexor solamente	—	19	21	dB
Energía óptica de entrada máxima	—	—	300	—	mW

- Ambiental
 - ✓ Temperatura de operación: C-Temp: -5 a +55 grados Celsius (+23 a +131 grados Fahrenheit)
- Humedad de operación: 5 a 95%, humedad relativa (RH)
 - Dimensiones
 - Altura: 321.3 mm (12.65 pulgadas)
 - Ancho: 46.8 mm (1.84 pulgadas)
 - ✓ Profundidad: 228.6 mm (9.00 pulgadas)

4.4 Tarjeta 32 DMX-O

La tarjeta demultiplexora de 32 canales (32 DMX-O) realiza demultiplexión de 32 canales separados cada 100 GHz identificados en el plan del canal. La 32 DMX-O toma dos ranuras en un ONS 15454 SDH y puede instalarse en las Ranuras 1 a 5 y 12 a 16. Las características de la 32 DMX-O incluyen:

- La AWG que activa todas las funciones de multiplexión.
- Cada puerto de canal simple está equipado con VOA a fin de regular automáticamente la energía óptica después de la demultiplexión. En caso de falla de energía eléctrica, el VOA está configurado en su atenuación máxima por cuestiones de seguridad. También está disponible un VOA con configuración manual.
- Cada puerto de canal simple es supervisado mediante un fotodiodo que permite la regulación automática de energía.

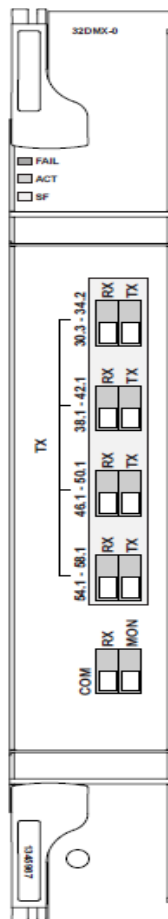


Fig. 4.7 placa frontal de la tarjeta 32 DMX-O.

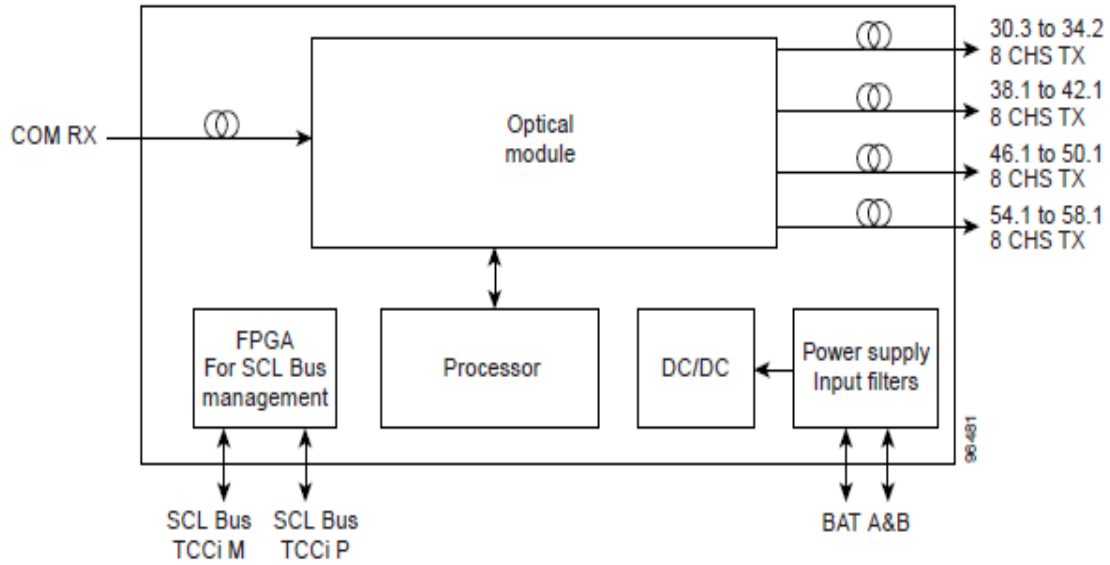


Fig. 4.8 Diagrama a bloques de la 32 DMX-O.

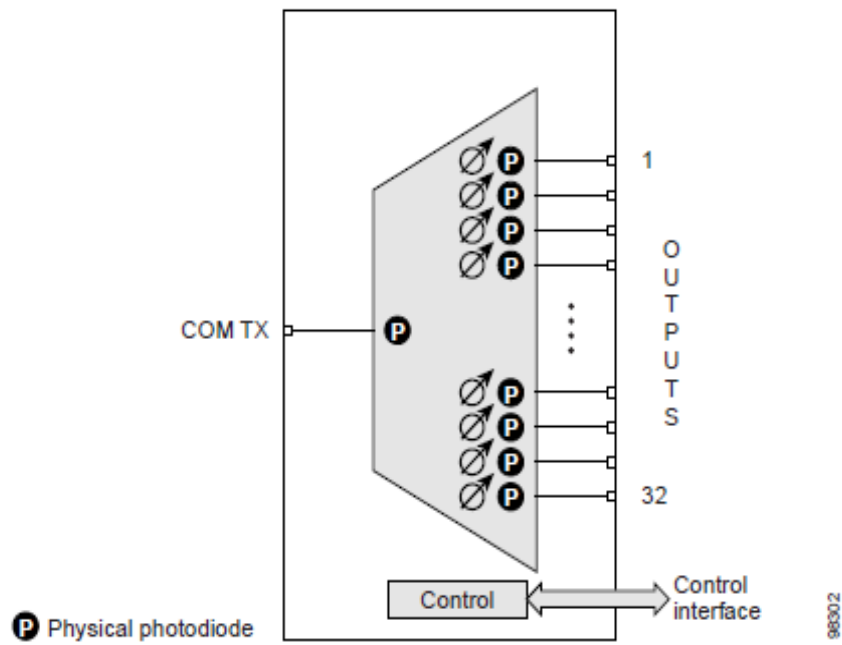


Fig. 4.9 Diagrama de la función óptica de la 32 DMX-O.

La tarjeta 32 DMX-O tiene tres indicadores LED en el ámbito de la tarjeta, que se describen en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Indicadores en el ámbito de la tarjeta 32 DMX-O

Indicadores en el ámbito de la tarjeta	Descripción
Indicador LED FAIL rojo (de falla)	El indicador LED FAIL rojo señala que el procesador de la tarjeta no está listo, o que existe una falla de hardware interna. Reemplace la tarjeta si el indicador LED FAIL persiste.
Indicador LED ACT verde	El indicador LED ACT verde señala que la 32 DMX-O está transportando tráfico o que se encuentra lista para el tráfico.
Indicador LED SF ámbar	El indicador LED SF ámbar muestra una falla de señal, en uno o más puertos de la tarjeta. El indicador LED SF ámbar se enciende también cuando las fibras de transmisión y recepción están conectadas incorrectamente. Cuando las fibras están conectadas en forma correcta, la luz permanece apagada.

Tabla 4.7 Especificaciones ópticas de la 32 DMX-O

Parámetro	Nota	Condición	Min.	Max.	Unidades
Forma del filtro de Tx (-1 dB de ancho de banda)	Todo SOP y dentro del rango de temperatura de operación	In 1/32 – Out BOL	+/- 180	+/- 300	pm
		In 1/32 – Out EOL	+/- 160		
Pérdida de inserción	Todo SOP y dentro del rango de temperatura de operación	In 1/32 – Out BOL	4	8.0	dB
		In 1/32 – Out EOL		8.5	
Rango dinámico del VOA	—	—	25	—	dB
Energía óptica de entrada máxima	—	—	300	—	mW

- Ambiental
- ✓ Temperatura de operación: C-Temp: -5 a +55 grados Celsius (+23 a +131 grados Fahrenheit)
- ✓ Humedad de operación: 5 a 95% RH
- Dimensiones
- ✓ Altura: 321.3 mm (12.65 pulgadas)
- ✓ Ancho: 46.8 mm (1.84 pulgadas)

- ✓ Profundidad: 228.6 mm (9.00 pulgadas)¹

4.5 Anillos DWDM y tarjetas TCC2

La tabla 4.7 muestra los anillos DWDM que pueden crearse en cada nodo ONS 15454 SDH, utilizando tarjetas TCC2 redundantes.

Tabla 4.8 Anillos ONS 14454 SDH con tarjetas TCC2 redundantes.

Tipo de anillo	Cantidad máxima de anillos por nodo
Anillos con hub	1
Anillos con hubs múltiples	1
Anillos en malla	1
Configuraciones lineales	1
Vínculo de tramo único	1

El tipo de nodo en una configuración de red está determinado por el tipo de tarjeta instalada en un nodo DWDM ONS 15454 SDH.

Un nodo hub es un nodo ONS 15454 SDH único equipado con, por lo menos, dos tarjetas 32 MUX-O, dos tarjetas 32 DMX-O y dos tarjetas TCC2. De ser necesario, también se puede agregar una unidad de compensación de dispersión (DCU). Para este tipo de nodo no es obligatorio instalar tarjetas de línea en las Ranuras 1 a 6 y 12 a 17. La Fig. 4.10 muestra una configuración típica de nodo hub. En esta ilustración sólo se observa la mitad inferior del nodo SDH.

¹ Guía de procedimientos del Cisco ONS 15454 SDH Documentación y productos: Versiones 4.1 y 4.5 Julio de 2003.

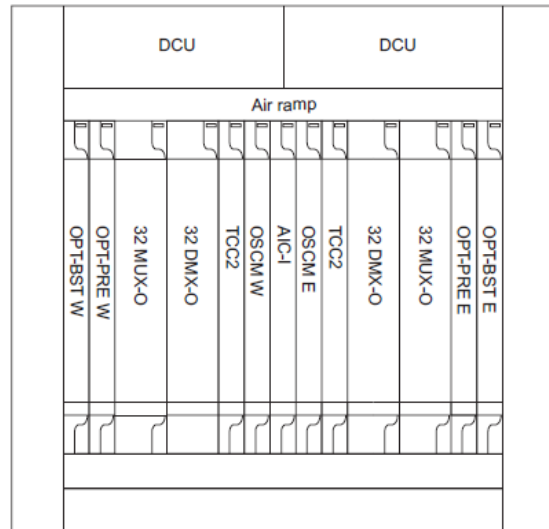


Fig. 4.10 Ejemplo de configuración del nodo Hub.

La Fig. 4.11 muestra el flujo del canal para un nodo hub. Hasta 32 canales de los puertos del cliente son multiplexados y ecualizados en una fibra utilizando la tarjeta 32 MUX-O. Luego, los canales multiplexados se transmiten por la línea en dirección este y son incorporados al amplificador óptico (OPT-BST).

La salida de este amplificador se combina con una señal de salida de la tarjeta de módem del canal de servicio óptico (OSCM) y se transmite hacia la línea este.

Las señales recibidas desde el puerto de la línea este se dividen entre la tarjeta OSCM y un preamplificador óptico (OPT-PRE). Se aplica compensación de dispersión a la señal recibida por el amplificador OPT-PRE y luego se envía a la tarjeta 32 DMX-O, que ecualiza y demultiplexa la señal de entrada. La ruta de la fibra de recepción oeste es idéntica a lo largo del amplificador OPT-BST oeste, del amplificador OPT-PRE oeste y de la tarjeta 32 DMX-U oeste.

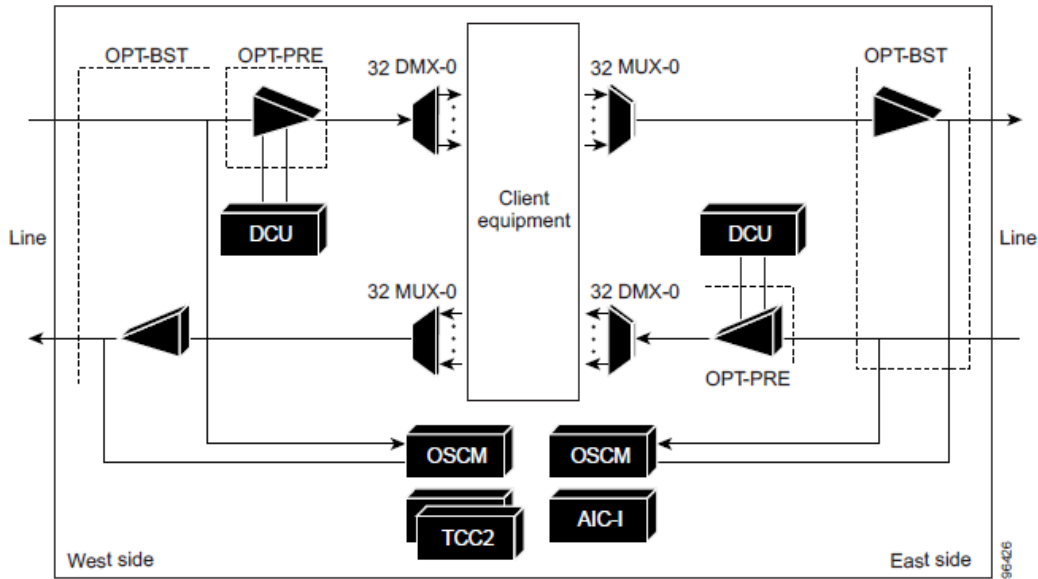


Fig. 4.11 Ejemplo de flujo de canal del nodo Hub.

4.5.1 Nodo de terminal

Un nodo hub puede transformarse en un nodo de terminal al eliminar las tarjetas este u oeste. Un nodo de terminal es un nodo ONS 15454 SDH único equipado con, por lo menos, una tarjeta 32 MUX-O, una tarjeta 32 DMX-O y dos tarjetas TCC2. La Fig. 4.12 muestra un ejemplo de un nodo de terminal con una configuración este. En esta ilustración sólo se observa la mitad inferior del nodo SDH. El flujo de canal para un nodo de terminal es el mismo que para el nodo hub

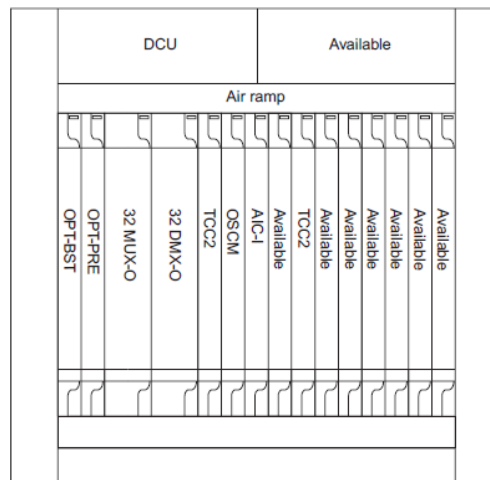


Fig. 4.12 Ejemplo de configuración de un nodo de terminal.

4.5.2 Nodo OADM

Un nodo OADM es un nodo ONS 15454 SDH único equipado con, por lo menos, una tarjeta AD-xC-xx.x o una tarjeta AD-xB-xx.x y dos tarjetas TCC2. No se deben aprovisionar las tarjetas 32 MUX-O o 32 DMX-O. En un nodo OADM, se pueden agregar o extraer canales independientemente de cada dirección, se pueden pasar por las bandas reflejadas de todos los OADM en el nodo DWDM (llamado ruta Express), o se pueden transportar de una tarjeta OADM a otra sin utilizar la tarjeta cross-conectora (llamada tarjeta de paso).

A diferencia de la ruta Express, un canal de paso se puede depositar en un anillo alterado sin afectar otro canal. La ubicación del amplificador OADM y de la tarjeta solicitada está determinada por la herramienta MetroPlanner² o por el plan de su sitio.

Existen diferentes categorías de nodos OADM, como ser amplificadores, pasivos y anti-ASE (Amplified Spontaneous Emission) Amplificación de Emisión espontánea.

La Fig. 4.13 muestra un ejemplo de configuración de un nodo OADM amplificado. En esta ilustración sólo se observa la mitad inferior del nodo SDH.

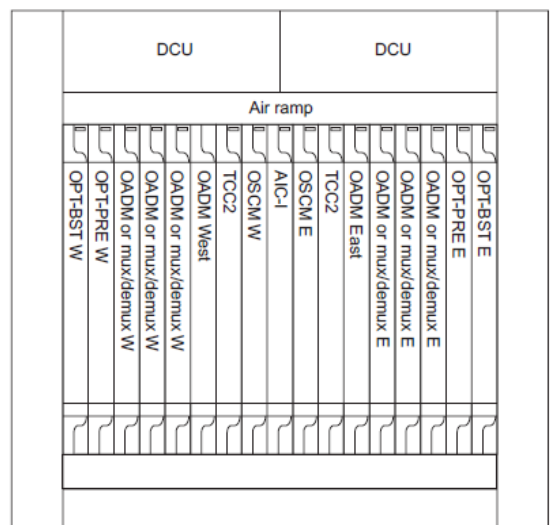


Fig.4.13 Ejemplo de configuración de un nodo OADM amplificado.

² Guía de referencia para equipos cisco Carrier ethernet.

La Fig. 4.14 muestra un ejemplo de configuración de un nodo OADM pasivo. En esta ilustración sólo se observa la mitad inferior del nodo SDH.

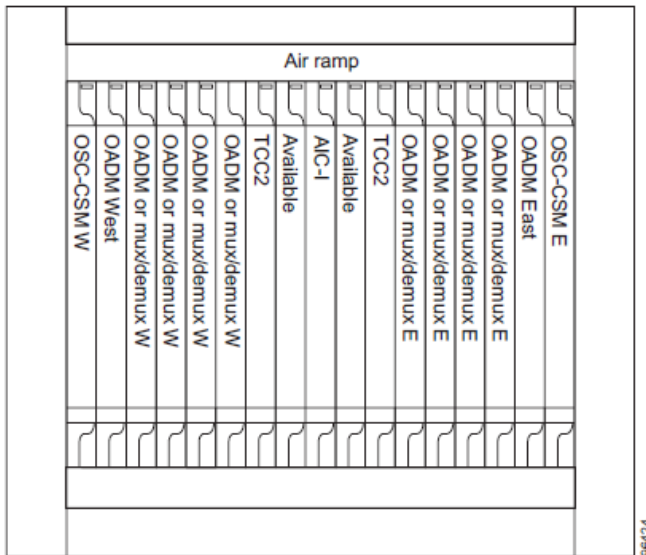


Fig. 4.14 Ejemplo de configuración de un nodo OADM pasivo

La Fig. 4.15 muestra un ejemplo del flujo de canal en el nodo OADM amplificado. Como el plan de 32 longitudes de onda se basa en ocho bandas (cada banda contiene cuatro canales), se puede realizar inserción o extracción óptica en la banda o en el canal (lo que implica que se pueden extraer canales individuales). Se puede observar un ejemplo de un nodo OADM creado mediante la utilización de filtros de banda o de canal en la Fig. 4.15 Los amplificadores OPT-PRE y OPT-BST se instalan al este y al oeste del nodo. Sólo se instalan OADM de una banda y de un canal al este y al oeste del nodo.

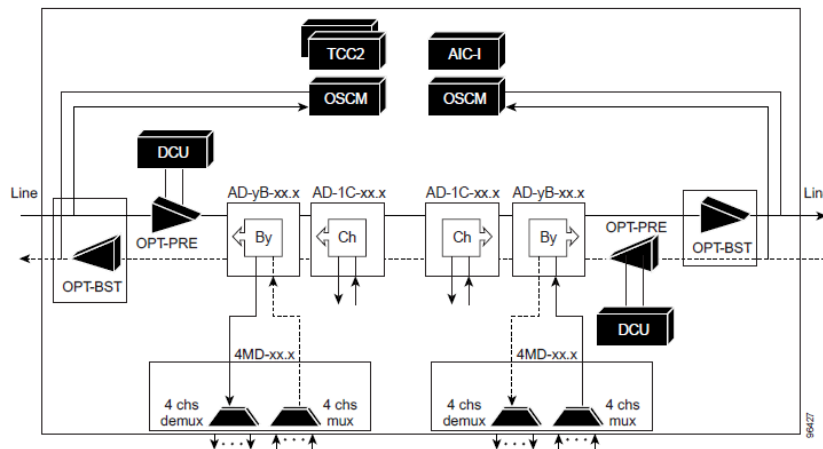


Fig. 4.15 Ejemplo de flujo de canal del nodo OADM amplificado

La Fig. 4.16 muestra un ejemplo del flujo del tráfico en el nodo OADM pasivo. El nodo OADM pasivo está equipado con un filtro de banda y un filtro de canal a cada lado del nodo. El flujo de señal de los canales es el mismo que se describe en la Fig. 4.16 excepto que se utiliza la tarjeta OSC-CSM, en lugar del amplificador OPT-BST y la tarjeta OSCM.

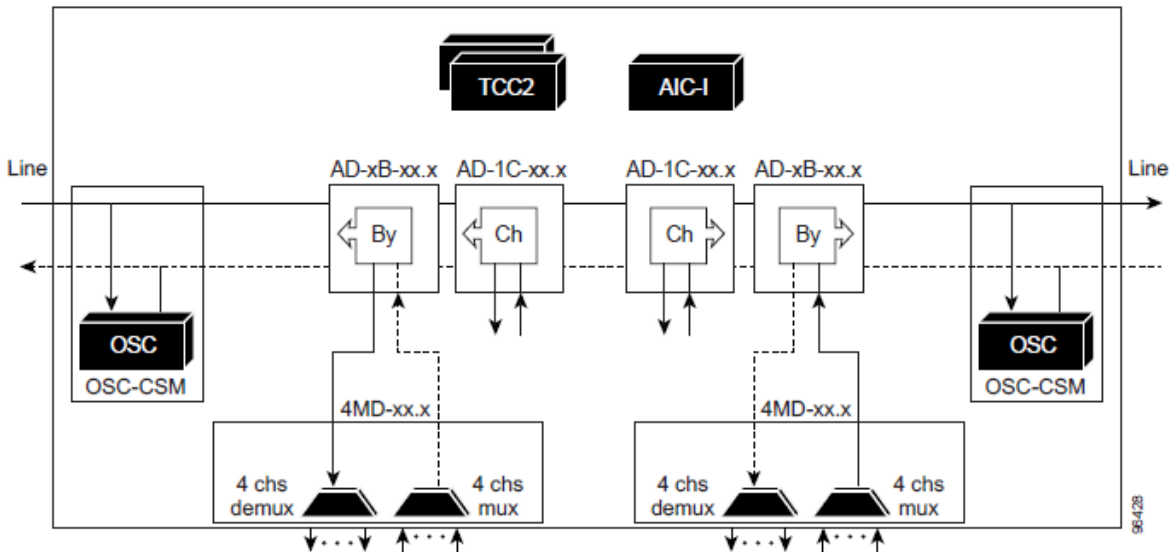


Fig. 4.16 Ejemplo de flujo de canal del nodo OADM pasivo.

4.5.3 Nodo anti-ASE

En una red de anillos en malla, el ONS 15454 SDH requiere una configuración de nodos que evite la acumulación y el entrelazado de ASE. Se puede crear un nodo anti-ASE al configurar un nodo hub o un nodo OADM con algunas modificaciones.

Los canales no pueden viajar a través de la ruta Express, pero se pueden extraer y demultiplexar en el canal de un lado, e insertar y multiplexar en el otro lado.

La configuración de preferencia es la del nodo hub, cuando algunos canales están conectados en el modo de paso. Para los anillos que requieren un número limitado de canales, combine las tarjetas AD-xB-xx.x y 4MD-xx.x, o configure las tarjetas AD-xC-xx.x en cascada.

La fig. 4.17 muestra un nodo anti-ASE que utiliza cinco longitudes de onda, dos de las cuales terminan en el nodo anti-ASE. Use MetroPlanner u otra herramienta de planificación de red a fin de determinar la mejor configuración para los nodos anti-ASE.

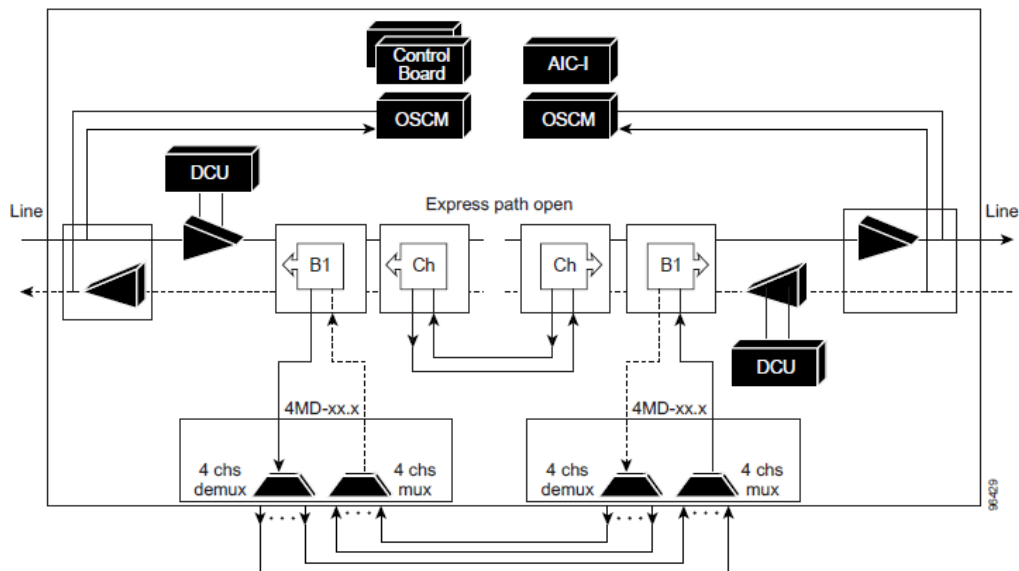


Fig. 4.17 Ejemplo de flujo de canal del nodo anti-ASE.

4.5.4 Nodo amplificador de línea

Un nodo de línea es un nodo ONS 15454 SDH único equipado con amplificadores OPT-PRE, o con amplificadores OPT-BST y tarjetas TCC2. También puede ser necesario el uso de atenuadores entre cada preamplificador y amplificador para hacer coincidir el valor de alimentación de la entrada óptica y mantener el valor de inclinación de ganancia del amplificador.

Se conectan dos tarjetas OSCM a los puertos este u oeste de los amplificadores para multiplexar la señal del canal de servicio óptico (OCS) con los canales de paso. Si el nodo no contiene amplificadores OPT-BST, deberá utilizar tarjetas OSC-CSM, en lugar de tarjetas OSCM, en su configuración. La Fig. 4.18 muestra

un ejemplo de configuración de un nodo de línea. En esta ilustración sólo se observa la mitad inferior del nodo SDH.

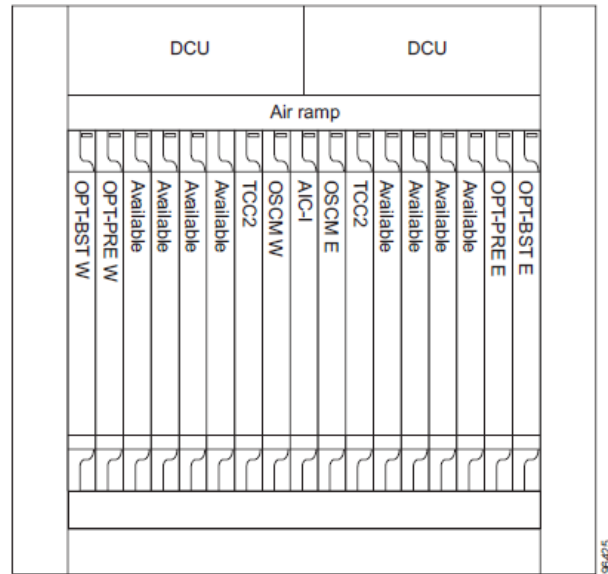


Fig. 4.18 Ejemplo de configuración de un nodo de línea.

4.6 Anillos con hub

En la topología de anillos con hub (Fig. 4.19), un nodo hub termina todos los canales DWDM. Se puede aprovisionar un canal para que admita tráfico protegido entre el nodo hub y cualquier otro nodo en el anillo. Tanto el tráfico de trabajo como el de protección utilizan la misma longitud de onda en ambos lados del anillo. El tráfico de protección también puede aprovisionarse entre cualquier par de nodos OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), salvo que se debe regenerar la ruta de trabajo o la de protección en el nodo hub.

El tráfico de protección satura un canal en el anillo con hub, es decir que no se puede volver a utilizar el canal. Sin embargo, se puede volver a usar el mismo canal en diferentes secciones del anillo, por medio del aprovisionamiento de tráfico de saltos múltiples no protegido. Desde el punto de vista de la transmisión, esta

topología de red es similar a dos enlaces bidireccionales de punto a punto con nodos OADM.

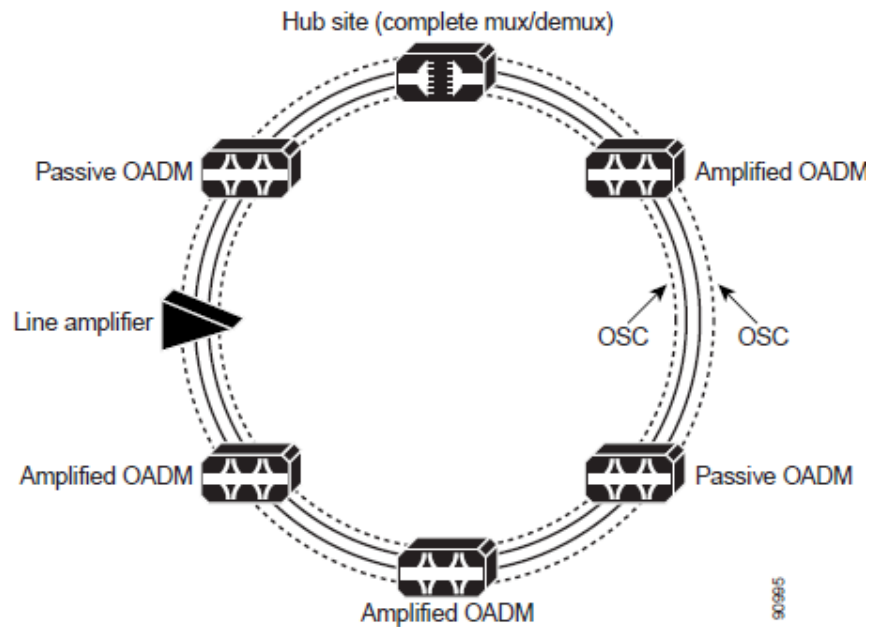


Fig. 4.19 topología de anillos con hub.

La tabla 4.9 enumera la pérdida de tramo para un anillo con hub. Esto sólo es aplicable a las redes Metro Core.

Tabla 4.9 Pérdida de tramo para un anillo con HUB

Número de tramos ¹	Clase A ²	Clase B ²	Clase C ²	Clase D ²	Clase E ²	Clase F ²	Clase G ²
Las clases de la A a la C son interfaces de 10 Gbps				Las clases de la D a la G son interfaces de 2.5 Gbps			
1	30 dB	23 dB	23 dB	32 dB	29 dB	27 dB	28 dB
2	26 dB	13 dB	13 dB	27 dB	23 dB	21 dB	22 dB
3	23 dB	—	—	25 dB	21 dB	17 dB	19 dB
4	21 dB	—	—	24 dB	18 dB	—	15 dB
5	20 dB	—	—	23 dB	14 dB	—	—
6	17 dB	—	—	21 dB	—	—	—
7	15 dB	—	—	20 dB	—	—	—

1. Los valores de desempeño óptico son válidos si todos los nodos OADM tienen una pérdida de 16 dB y pérdidas de tramos similares.

2. Las siguientes definiciones de clases se refieren a la tarjeta del ONS 15454 SDH en uso:

Clase A: transponedora de índice múltiple de 10 Gbps, con corrección de errores de envío (FEC) o de muxponder de 10 Gbps con FEC

Clase B: transponedora de índice múltiple de 10 Gbps sin FEC

Clase C: OC-192 LR ITU

Clase D: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección con FEC activado

Clase E: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección sin FEC activado

Clase F: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección en modo regenerar y remodelar (2R)

Clase G: OC-48 ELR 100 GHz

4.6.1 Anillos con hubs múltiples

Un anillo con hub múltiple (Fig.4.20) se basa en la topología del anillo con hub, pero se agregan dos o más nodos hub. Sólo se puede establecer tráfico protegido entre los dos nodos del hub. El tráfico protegido se puede aprovisionar entre un nodo hub y cualquier nodo OADM, sólo si el canal de longitud de onda asignado se regenera a través del otro nodo hub. El tráfico de saltos múltiples se puede aprovisionar en este anillo. Desde el punto de vista de la transmisión, esta topología de red es similar a dos o más enlaces de punto a punto con nodos OADM.

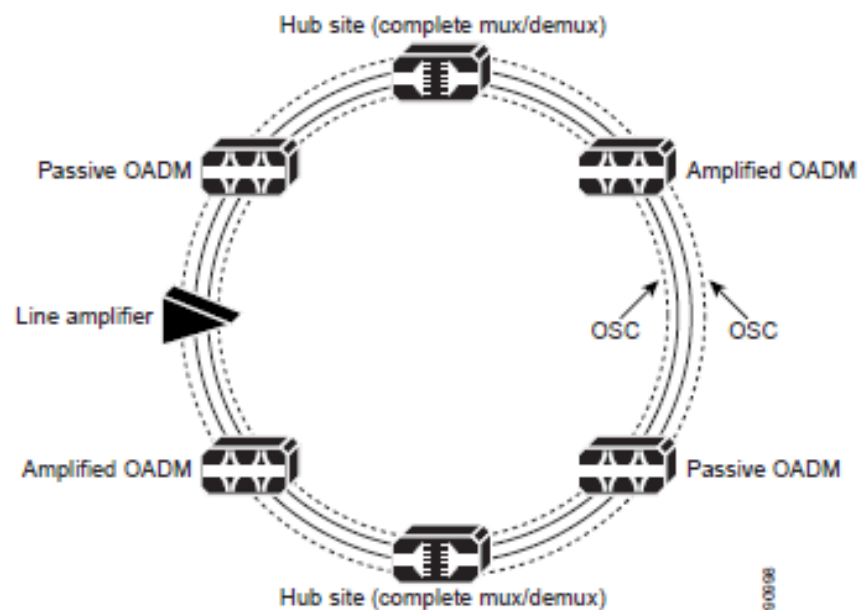


Fig. 4.20 anillo con hub múltiple.

Para obtener información acerca de pérdidas de tramos en una configuración de anillo, consulte la Tabla 12-2 en la página 12-12. Esto sólo es aplicable a las redes Metro Core.

4.6.2 Anillos en malla

La topología de anillos en malla (Fig. 4.21) no utiliza nodos hub, sólo utiliza nodos OADM amplificadores y pasivos. El tráfico protegido se puede aprovisionar entre cualquier par de nodos; sin embargo, el canal seleccionado no se puede volver a

utilizar en el anillo. El tráfico de saltos múltiples se puede aprovisionar en este anillo. Un anillo en malla debe estar diseñado para evitar el entrelazado de la emisión espontánea amplificada (ASE). Esto se logra al configurar un nodo en particular como anti-ASE. Se puede crear un nodo anti-ASE de dos formas:

- Equipar un nodo OADM con tarjetas 32 MUX-O y 32 DMX-O. Esta solución se adopta cuando el número total de longitudes de onda utilizadas en el anillo es mayor que diez.
- Cuando el número total de longitudes de onda utilizadas en el anillo es menor que diez, se configura el nodo anti-ASE mediante un nodo OADM, en el cual todos los canales que no terminan en el nodo se configuran como “hitless”. En otras palabras, ningún canal en el nodo anti-ASE puede viajar a través de la ruta Express de un nodo OADM.

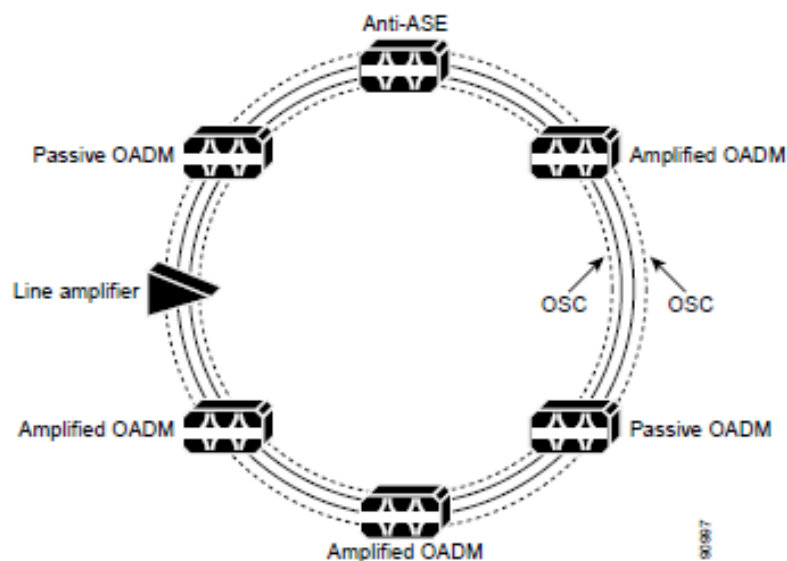


Fig. 4.21 anillos en malla.

Para obtener información acerca de pérdidas de tramos en una configuración de anillo, consulte la Tabla 4.8. Para obtener información acerca de pérdidas de tramos en un anillo sin OADM,

4.7 Configuraciones lineales

Las configuraciones lineales se caracterizan por el uso de dos nodos de terminal (oeste y este). Los nodos de terminal deben estar equipados con una tarjeta 32 MUX-O y una tarjeta 32 DMX-O. Se pueden instalar nodos OADM o amplificadores de línea entre los dos nodos de terminal. En una configuración lineal, sólo se puede aprovisionar tráfico no protegido. La Fig. 4.22 muestra cinco nodos ONS 15454 SDH en una configuración lineal con un nodo OADM.

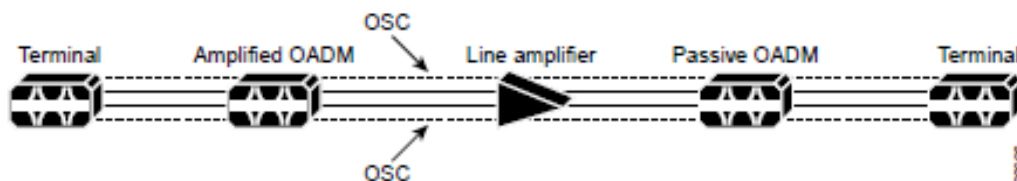


Fig. 4.22 Configuración lineal con un nodo OADM.

La Tabla 4.10 detalla la pérdida de tramos para una configuración lineal con nodos OADM para redes Metro Core únicamente.

Tabla 4.10 Pérdida de tramos para una configuración lineal con nodos OADM

Numero de tramos ¹	Clase A ²	Clase B ²	Clase C ²	Clase D ²	Clase E ²	Clase F ²	Clase G ²
Las clases de la A a la C son interfaces de 10 Gbps				Las clases de la D a la G son interfaces de 2.5 Gbps			
1	30 dB	23 dB	23 dB	32 dB	29 dB	27 dB	28 dB
2	26 dB	13 dB	13 dB	27 dB	23 dB	21 dB	22 dB
3	23 dB	—	—	25 dB	21 dB	17 dB	19 dB
4	21 dB	—	—	24 dB	18 dB	—	15 dB
5	20 dB	—	—	23 dB	14 dB	—	—
6	17 dB	—	—	21 dB	—	—	—
7	15 dB	—	—	20 dB	—	—	—

- Los valores de desempeño óptico son válidos si todos los nodos OADM tienen una pérdida de 16 dB y pérdidas de tramos similares.
- Las siguientes definiciones de clases se refieren a la tarjeta del ONS 15454 SDH en uso:
 Clase A: transponedora de índice múltiple de 10 Gbps, con corrección de errores de envío (FEC) o de muxponder de 10 Gbps con FEC.
 Clase B: transponedora de índice múltiple de 10 Gbps sin FEC
 Clase C: OC-192 LR ITU
 Clase D: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección con FEC activado
 Clase E: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección sin FEC activado
 Clase F: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección en modo 2R
 Clase G: OC-48 ELR 100 GHz

La Fig. 4.23 muestra cinco nodos ONS 15454 SDH en una configuración lineal, sin ningún nodo OADM.

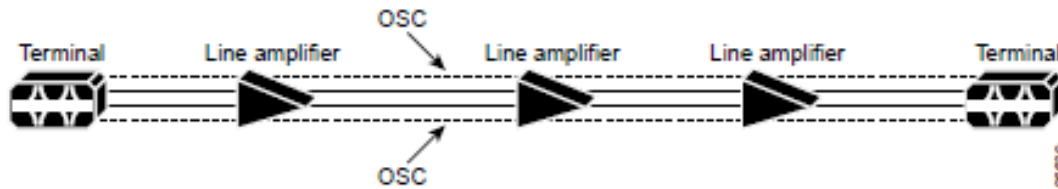


Fig.4.23 Configuración lineal, sin ningún nodo OADM

La Tabla 4.11 detalla la pérdida de tramos para una configuración lineal sin OADM.

Tabla 4.11 Pérdida de tramos para una configuración lineal sin OADM.

Número de tramos	Clase A ¹	Clase B ¹	Clase C ¹	Clase D ¹	Clase E ¹	Clase F ¹	Clase G ¹
Las clases de la A a la C son interfaces de 10 Gbps				Las clases de la D a la G son interfaces de 2.5 Gbps			
1	30 dB	23 dB	23 dB	32 dB	29 dB	27 dB	28 dB
2	26 dB	18 dB	18 dB	28 dB	25 dB	22 dB	23 dB
3	25 dB	14 dB	14 dB	26 dB	23 dB	20 dB	21 dB
4	23 dB	—	—	25 dB	21 dB	19 dB	20 dB
5	22 dB	—	—	24 dB	20 dB	18 dB	19 dB
6	21 dB	—	—	22 dB	19 dB	14 dB	15 dB
7	20 dB	—	—	21 dB	18 dB	13 dB	14 dB

1. Las siguientes definiciones de clases se refieren a la tarjeta del ONS 15454 SDH en uso:
 Clase A: transpondedora de índice múltiple de 10 Gbps con corrección de errores de envío (FEC), o de muxponder de 10 Gbps con FEC.
 Clase B: transpondedora de índice múltiple de 10 Gbps sin FEC
 Clase C: OC-192 LR ITU
 Clase D: transpondedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección con FEC activado
 Clase E: transpondedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección sin FEC activado
 Clase F: transpondedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, con y sin protección en modo 2R
 Clase G: OC-48 ELR 100 GHz

4.7.1 Vínculo de tramo único

El vínculo de tramo único es un tipo de configuración lineal que se caracteriza por un vínculo de tramo único con preamplificación y postamplificación. Un vínculo de tramo también se caracteriza por el uso de dos nodos de terminal (oeste y este). Los nodos de terminal deben estar equipados con una tarjeta 32 MUX-O y una tarjeta 32 DMX-O. Se pueden instalar nodos OADM entre los dos nodos de terminal. Sólo se puede aprovisionar tráfico sin protección en un vínculo de tramo

único. La Fig. 4.24 muestra los nodos ONS 15454 SDH en un vínculo de tramo único. En un tramo se transportan ocho canales. Las pérdidas en un vínculo de tramo único sólo se aplican a las tarjetas OC-192 LR ITU. Los valores de desempeño óptico son válidos si la suma de las pérdidas de inserción de los nodos pasivos OADM y las pérdidas de tramos no supera 37 dB.

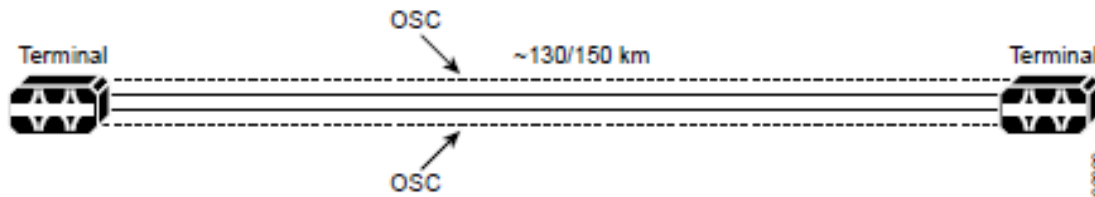


Fig. 4.24 Vínculo de tramo único.

La Tabla 4.12 detalla la pérdida de tramos para una configuración de vínculo de tramo único para redes Metro Core únicamente.

Tabla 4.12 Pérdida de tramo para la configuración lineal.

Número de tramos ¹	Clase A ²	Clase D ²
1	37 dB	37 dB
2	37 dB	37 dB
3	37 dB	37 dB
4	37 dB	37 dB
5	37 dB	37 dB
6	37 dB	37 dB
7	37 dB	37 dB

1. Los valores de desempeño óptico son válidos si existe una capacidad máxima de ocho canales.

2. Las siguientes definiciones de clases se refieren a la tarjeta del ONS 15454 SDH en uso:

Clase A: transponedora de índice múltiple de 10 Gbps con corrección de errores de envío (FEC) o de muxponder de 10 Gbps con FEC.

Clase D: transponedora de índice múltiple de 2.5 Gbps, sin protección con FEC activado

4.7.2 Control automático de energía

Cada nodo DWDM ONS 15454 SDH tiene una función de control automático de energía (APC) que realiza las siguientes acciones:

- Mantiene constante la energía del canal cuando se insertan o se bajan canales, o cuando hay un deterioro de la pérdida de tramo.



- Proporciona aprovisionamiento automático de parámetros de amplificación (como la ganancia) durante la instalación de la red.

Para llevar a cabo estas funciones, todos los puertos de entrada y de salida están equipados con un atenuador óptico variable (VOA) y un fotodiodo real o virtual. Un fotodiodo virtual es un cálculo de firmware de la energía en ese puerto, que se calcula al sumar los valores medidos de todos los puertos de canal único y aplicar la pérdida de inserción de ruta apropiada. Los VOA y los fotodiodos tienen las siguientes propiedades:

- Los VOA siempre están presentes en los canales de entrada y en las bandas de bajada.
- En los canales de salida, sólo hay un VOA para la tarjeta 32 DMX-O.
- No hay ningún VOA en las bandas de inserción.
- Para los canales con VOA, siempre hay un fotodiodo después del VOA.
- Los VOA que son rutas de Sección de transporte óptico (OTS) o de Sección de multiplexión óptica (OMS) se establecen en atenuación constante.
- Los VOA que son rutas de Canales ópticos (OCH) se establecen en energía constante.

La administración de la variación del número de canales (incluidas las variaciones causadas por cortes en la fibra) requiere procesamiento rápido en tiempo real. Este procesamiento es realizado por el firmware y el procesador en los amplificadores. El procesamiento que requiere menos sincronización para la administración de tramos de fibra o de deterioro pasivo de los componentes ópticos es realizado por TCC2.

Los amplificadores ópticos DWDM de ONS 15454 SDH funcionan en dos modos diferentes cuando ocurre algún cambio en la energía de entrada:

- Ganancia constante: Los amplificadores cambian la energía de salida. La ganancia se mantiene constante. Este modo se usa cuando se insertan o bajan canales.



- Energía de salida constante: Los amplificadores cambian la ganancia y mantienen la energía de salida constante.

El modo de ganancia constante se implementa en las tarjetas del amplificador DWDM, para seguir los cambios en el número de canales. Estos cambios ocurren rápidamente y requieren respuestas rápidas. El modo de energía de salida constante se implementa en el TCC2, para seguir los deterioros del sistema que son típicamente lentos³.

³ Manual de referencia de Cisco ONS 15454 SDH Documentación y productos: Versiones 4.1 y 4.5 Julio de 2003.

Conclusiones

Las redes de nueva generación no solo son rentables si no que aumenta las capacidades de las redes tradicionales. Al integrar redes de nueva generación a redes tradicionales se tienen mayor calidad y disponibilidad de servicio, pero algunas pruebas y monitoreo se utiliza para asegurar que la mezcla de tecnología puedan proveer la demanda creciente de ancho de banda.

Hoy, las redes de naturaleza óptica aportan:

- Aprovechamiento de las fibras existentes unido a un notable incremento de la capacidad.
- Integración de servicios tradicionales junto con servicios de última generación.
- Desarrollo de topologías punto a punto, anillos y mallas.
- Capacidades de protección y recuperación comparables a las ofrecidas en SDH.
- Unificación desde la perspectiva tecnológica, y convergencia entre organismos estandarizadores y fabricantes.

Mañana la próxima frontera será la internet óptica:

- Routers y conmutadores ópticos con capacidad de leer, borrar y re-escribir el contenido de una etiqueta en el dominio óptico
- La latencia de estos dispositivos será inferior a 1ns
- El reto actual es la fabricación y miniaturización de nuevos componentes: buffers ópticos, puertas lógicas ópticas, etc.

Por éste y otros motivos apuntados, los mayores operadores de telecomunicaciones (Telmex, Alestra, Telefónica, BT, France Telecom...) están ofreciendo ya servicios Ethernet como alternativa a otras tecnologías de comunicación de datos de larga distancia.

El avance vertiginoso de las telecomunicaciones y la convergencia de servicios demandan a las naciones a integrarse a la era digital para no quedar rezagadas en su desarrollo.

Uno de los temas jurídicos más relevantes en la actualidad en nuestro país, por la importancia que reviste este sector en la economía, es el del marco jurídico que regula las telecomunicaciones y la radiodifusión (radio y televisión abiertas), pues la “doble ventanilla” entre la SCT y la COFETEL genera grandes problemas que entorpecen la interlocución con las empresas de la industria.

Con la transición de la industria de las telecomunicaciones, el énfasis de los operadores es cumplir con las necesidades del cliente con ajustado presupuesto.

Las tecnologías digitales dan a los ciudadanos la posibilidad de acceder a la Sociedad de la Información y del Conocimiento. En este sentido resulta indispensable contar con una infraestructura de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) con cobertura universal, de calidad y convergente.

La convergencia plena es prioritaria para la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel), por lo que las medidas que se están adoptando con la participación de la industria que se ha manifestado en consultas públicas tienden a promover la modernización de las redes existentes y a actualizar la regulación que las rige.

El modelo de negocios en un entorno de redes de nueva generación cambia radicalmente. Recordemos el ejemplo de la interconexión, en la que la calidad y la capacidad se vuelven fundamentales.

El nuevo marco legal y regulatorio debe garantizar un entorno competitivo para el sector a través de la regulación con el fin de, cuando se alcance este entorno, poder desregular como se ha hecho en otros países. Por ejemplo, continuando

con la reducción de áreas de servicios locales para terminar con una sola, eliminando la larga distancia y el roaming, lo cual aumentaría el tráfico. Si logramos asegurar que estos puntos críticos obtengan la atención que merecen y sean resueltos, contribuirán a mejorar el desempeño del sector de telecomunicaciones y, en consecuencia, la competitividad del país.

Es claro que el crecimiento económico, el desarrollo social y la competitividad del país son asuntos demasiado importantes, pero también demasiado complejos, para dejarlos solamente a la deriva de la operación del mercado. Esta hoy en manos de la industria y de las autoridades del sector aprovechar efectivamente el potencial de las telecomunicaciones como el sector líder. Es por ello que está en mano de los legisladores, sentar las bases para el aprovechamiento efectivo del potencial de las telecomunicaciones y a la radiodifusión como el sector líder necesario para acceder a un estadio superior de desarrollo integral del país.

El hecho de concluir este trabajo de tesis es de entera satisfacción ya que la recopilación de datos en libros y páginas de internet fue una ardua labor de investigación ya que este trabajo se basa en redes ópticas con capacidad de 2.5 Gb/s abriendo la puerta para la configuración de 10 Gb/s.

Concluyendo, la redes ópticas están en desarrollo, lo que las limita es la capacidad de los equipos que se encuentran actualmente.

Anexo

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, también conocido como teorema de muestreo de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, criterio de Nyquist o teorema de Nyquist, es un teorema fundamental de la teoría de la información, de especial interés en las telecomunicaciones.

Este teorema fue formulado en forma de conjetura por primera vez por Harry Nyquist en 1928 (*Certain topics in telegraph transmission theory*), y fue demostrado formalmente por Claude E. Shannon en 1949 (*Communication in the presence of noise*).

El teorema trata con el muestreo, que no debe ser confundido o asociado con la cuantificación, proceso que sigue al de muestreo en la digitalización de una señal y que, al contrario del muestreo, no es reversible (se produce una pérdida de información en el proceso de cuantificación, incluso en el caso ideal teórico, que se traduce en una distorsión conocida como error o ruido de cuantificación y que establece un límite teórico superior a la relación señal-ruido). Dicho de otro modo, desde el punto de vista del teorema, las muestras discretas de una señal son valores exactos que aún no han sufrido redondeo o truncamiento alguno sobre una precisión determinada, esto es, aún no han sido cuantificadas.

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.

Dicho de otro modo, la información completa de la señal analógica original que cumple el criterio anterior está descrita por la serie total de muestras que resultaron del proceso de muestreo. No hay nada, por tanto, de la evolución de la

señal entre muestras que no esté perfectamente definido por la serie total de muestras.

Si la frecuencia más alta contenida en una señal analógica $x_a(t)$ es $F_{max} = B$ y la señal se muestrea a una tasa $F_s > 2F_{max} \equiv 2B$, entonces $x_a(t)$ se puede recuperar totalmente a partir de sus muestras mediante la siguiente función de interpolación¹:

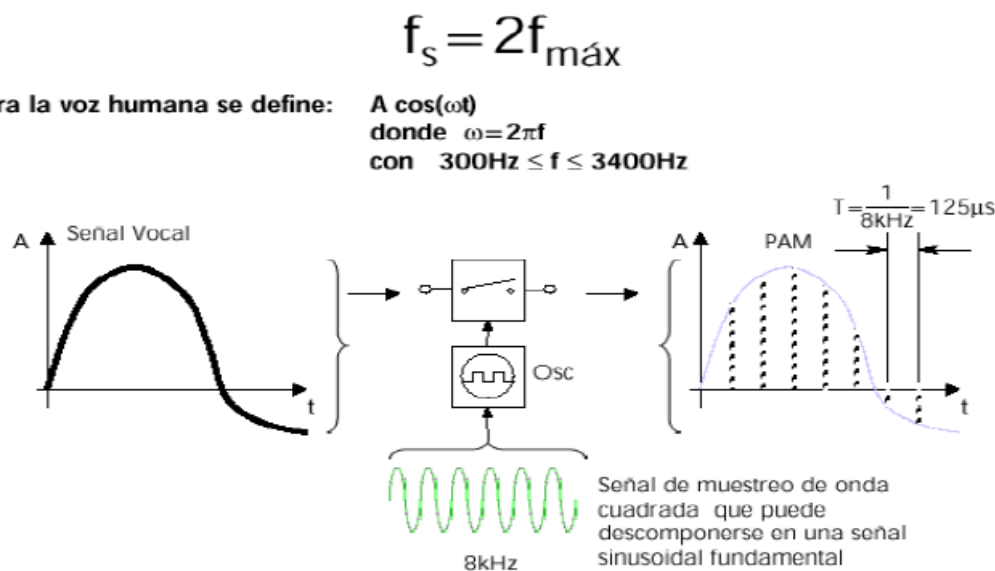


Fig. A1 Teorema de Nyquist.

Recomendación G.711

La ITU ha estandarizado la Modulación de Código de Pulso Modulation como G.711, permite una señal de audio de calidad tarifada con un ancho de banda de 3.4 KHz que ha de ser codificado para la transmisión de índices de 56 Kbps o 64 Kbps. El G.711 utiliza A-law o Mu-law para una compresión simple de amplitud y es el requisito básico de la mayoría de los estándares de comunicación multimedia de la ITU.

PCM es un método de codificación de señal de audio analógica más popular y es ampliamente utilizado por la red telefónica pública. Sin embargo, el PCM no soporta compresión de ancho de banda, por lo que otras técnicas de codificación

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon

como el ADPCM utilizan estimaciones basándose en dos muestras cuantificadas consecutivas para reducir el ancho de banda.

El UIT-T en la norma G - 711 recomienda el uso de la **ley A** para sistemas de 30 + 2 canales, representada en la siguiente figura

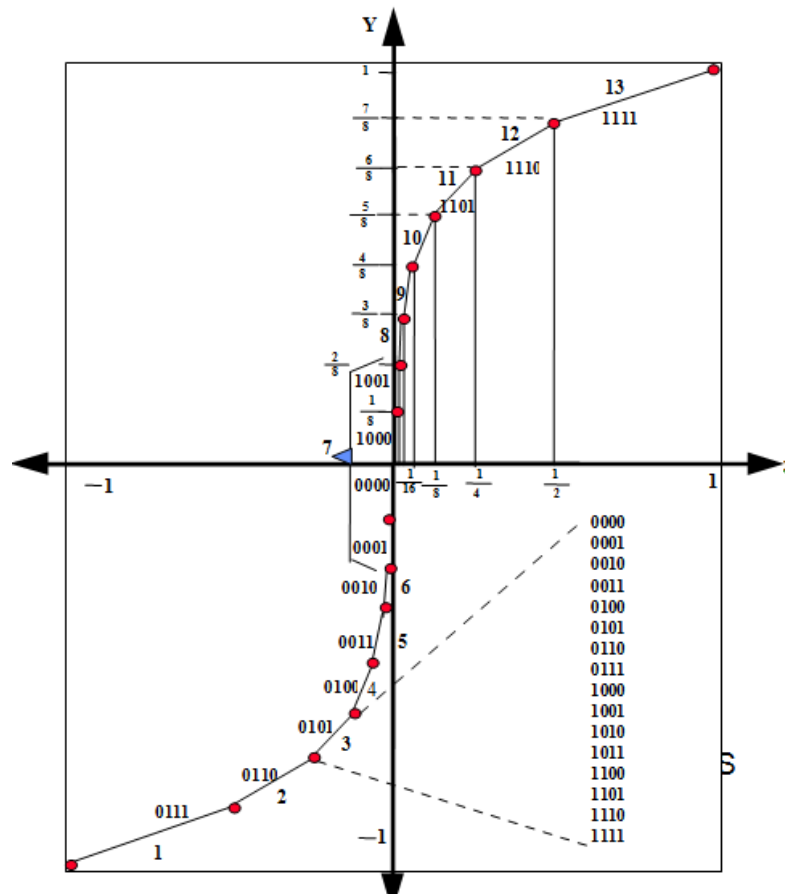


Fig. A.2 Ley A.

La curva se representa mediante 13 segmentos. La **ley A** del compresor se basa en la división del rango de trabajo del sistema en 64 intervalos, para amplitudes positivas y 64 intervalos para las amplitudes negativas. La función de transferencia se divide en 13 segmentos, siendo cambiada la pendiente en cada segmento por un factor de 2, de esta forma, una amplitud que corresponde a 1/64 del rango de trabajo total, se reproduce en el compresor como una señal de salida con una

amplitud de $16/64 = 1/4$ del rango total de trabajo, es decir, esta señal de bajo nivel es amplificada por un factor de:

$$F = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{64}} = \frac{64}{4} = 16 \text{ veces}$$

De esta manera, las muestras de la señal analógica son cuantificadas mediante un proceso no lineal o compresión con la **ley A**, lo cual asigna la relación de números binarios que corresponden a un cierto rango de amplitud².

Recomendación UIT-R BT.601

En esta Recomendación también se consideran las características de estructuras de elementos (píxel) que constituyen una imagen de televisión digital entrelazada de 525 ó 625 líneas.

Esta Recomendación especifica los métodos de codificación digital de señales vídeo. Se utiliza una misma velocidad de muestreo de 13,5 MHz para los formatos de imagen de 4:3 y de 16:9, con funcionamiento adecuado en los actuales sistemas de transmisión.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, *considerando*

- a)** que las normas de televisión digital para estudios que cuentan con el mayor número de valores de parámetros significativos comunes a los sistemas de 525 y 625 líneas presentan claras ventajas para los organismos de radiodifusión y los productores de programas de televisión;
- b)** que un método digital compatible en todo el mundo posibilitará el desarrollo de equipos con muchas características comunes, permitirá economías de explotación y facilitará el intercambio internacional de programas;
- c)** que conviene disponer de una familia ampliable de normas compatibles de codificación digital; los niveles de dicha familia podrían corresponder a

² Barranco Castellanos Benito, Apuntes de sistemas de comunicaciones E1 (ParteI), p 18- 20

diferentes niveles de calidad y formatos, facilitar el tratamiento adicional requerido por las actuales técnicas de producción y tener en cuenta las necesidades futuras;

- d) que un sistema basado en la codificación de las componentes puede satisfacer estos objetivos deseables;
- e) que la coincidencia en el espacio de las muestras que representan las señales de luminancia y de diferencia de color (o, en su caso, las señales de rojo, verde y azul) facilita el tratamiento de las señales componentes digitales que requieren las actuales técnicas de producción, *recomienda*
- f) que se empleen los siguientes parámetros como base para las normas de codificación digital para estudios de televisión en aquellas zonas del mundo que utilizan tanto sistemas de 525 líneas como de 625 líneas.

Familia ampliable de normas compatibles de codificación digital

La codificación digital debe permitir el establecimiento y la evolución de una familia ampliable de normas compatibles de codificación digital. Debería ser posible la comunicación entre las normas de esta familia.

Rec. UIT-R BT.601-6

1. La codificación digital debe basarse en el empleo de una señal de luminancia y de dos señales de diferencia de color (o, en su caso, señales de rojo, verde y azul).
2. Deben controlarse las características espectrales de las señales para evitar el solape de los diferentes espectros, conservando al mismo tiempo la respuesta en la banda de paso.

Especificaciones aplicables a cualquier norma de esta familia

1. Las estructuras de muestreo deben ser estáticas en el espacio. Este es el caso, por ejemplo, de la estructura de muestreo ortogonal especificada en la presente Recomendación.

2. Si las muestras representan la señal de luminancia y dos señales simultáneas de diferencia de color, cada par de muestras de diferencia de color deben tener igual ubicación en el espacio. Si se utilizan muestras que representan las señales de rojo, verde y azul, deben tener igual ubicación en el espacio.
3. La norma digital adoptada para cada norma de esta familia debe hacer posible la aceptación y aplicación a nivel mundial en la explotación; una condición para lograr este objetivo es que, en cada norma de esta familia, el número especificado de muestras por línea para los sistemas de 525 y 625 líneas sea compatible. (De ser posible, conviene que haya un número igual de muestras por línea.)
4. En las aplicaciones de estas especificaciones, el contenido de las palabras digitales se expresa tanto en forma decimal como hexadecimal, designadas respectivamente por los sufijos «d» y «h».

Para evitar confusiones entre las representaciones de 8 bits y 10 bits, los ocho bits más significativos se consideran parte entera, mientras que los dos bits adicionales, de existir, se consideran partes fraccionarias.

Por ejemplo, la configuración de bits 10010001 se expresaría mediante 145d ó 91h, y la configuración 1001000101, mediante 145,25d ó 91,4h.

Cuando no aparece ninguna parte fraccionaria, debe suponerse que el valor binario es 00³.

Estructura de trama de 2 Mb/s G.704.

Como ya se mencionó anteriormente, un sistema PCM utiliza la digitalización de señales analógicas; en un sistema PCM, tanto los bits de señalización como los bits de sincronía ocupan posiciones diferentes en la trama, de acuerdo con la norma que se utilice; existen dos normas jerárquicas utilizadas en los sistemas PCM:

³ Recomendación UIT-R BT.601-6

- Norma Americana
- Norma Europea

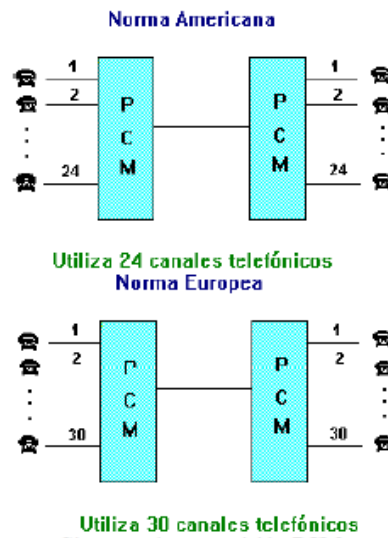


Fig. A.3 Sistemas de Transmisión PCM

Trama

Como se comentó la norma Europea utiliza 30 canales telefónicos en una línea, pero necesita dos TS más, uno para la sincronización y otro para la señalización, por lo que se transmiten 32 intervalos de tiempo, entonces:

En el TS₀ de las tramas pares, se encuentra la palabra de sincronía de trama y en el TS₀ de las tramas impares se encuentra la palabra de no sincronía (también conocida como la palabra de alarmas).

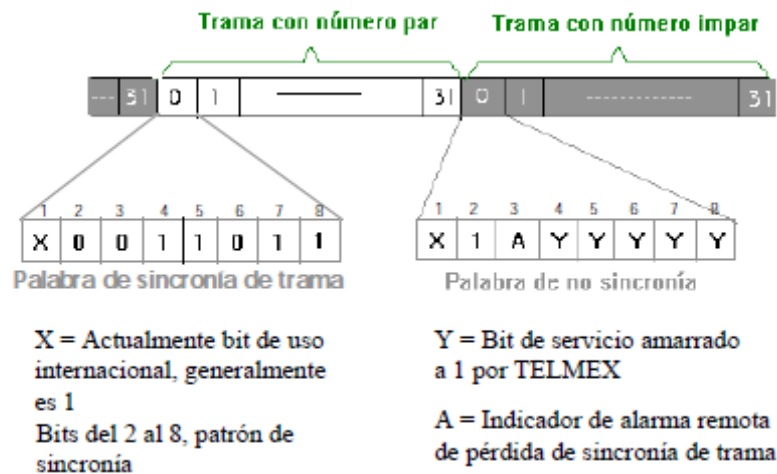


Fig. A4 Tramas de la señal PCM.

Tabla A1, Cálculo de un E1

El valor de...	Se calcula $T = \frac{1}{f_s}$
Periodo de cada trama	$T = \frac{1}{8000\text{Hz}} = 125\mu\text{s}$
Periodo de un TS	$T = \frac{125\mu\text{s}}{32} = 3.9\mu\text{s}$
Periodo de un bit	$T = \frac{3.9\mu\text{s}}{8} = 0.488\mu\text{s} = 488\text{ns}$
Velocidad de transmisión (Tomando en cuenta que la velocidad de muestreo para cada uno de los intervalos de tiempo es de 8 KHz, y que cada intervalo de tiempo está formado por una palabra de 8bits)	$8\text{KHz} \cdot 32 \text{ intervalos de tiempo} \cdot 8\text{bits} = 2048 \text{ Kbits/s}$ Este resultado también se puede obtener del inverso del periodo de un bit: $T = \frac{1}{0.488\mu\text{s}} = 2048\text{Kbits/s}$

Multitrama: Una multitrama es el conjunto de 16 tramas (Frames), numeradas del 0 al 15, y es el ciclo completo en donde se insertó toda la información (alarmas, señalización, voz, palabras de sincronía de trama, etc.).

La sincronía de multitrama también conocida como palabra de alineamiento de multitrama, deberá transmitirse de la siguiente manera:

0 0 0 0 Y A Y Y

Donde:

0000 es la palabra de sincronía de multitrama.

A = Bit de alarma de multitrama.

Si A = 0 el sistema tiene estado normal.

Si A = 1 existe una falla remota de multitrama.

Y = Bits de servicio.

Esta palabra se transmite en el intervalo de tiempo 16 de la trama 0.

Además de voz, el sistema debe transmitir más información (señalización) para controlar y supervisar los canales telefónicos. El intervalo de tiempo 16 (TS₁₆) de

cada una de las tramas (1 a 15) se usa para este propósito, excepto en la trama 0 que se utiliza para la palabra de sincronía de multitrama (MFAS)⁴.

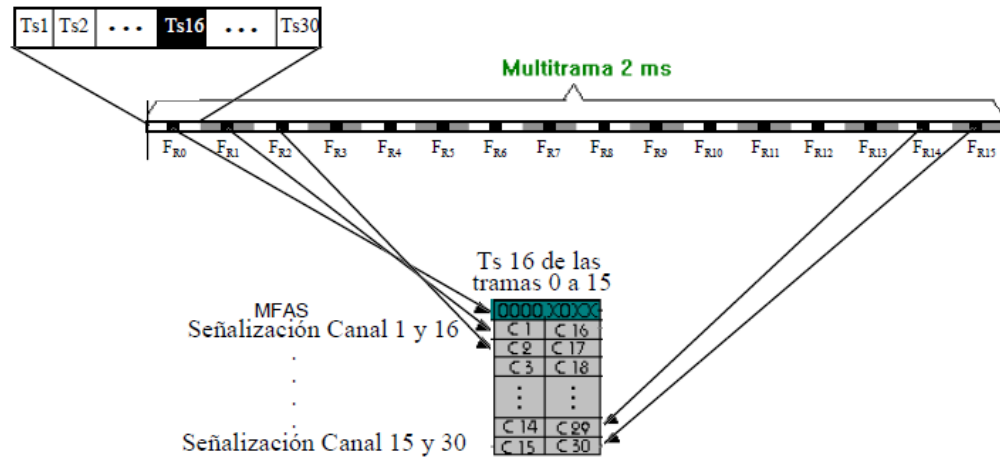


Fig. A5 Los TS en la multitrama.

⁴ Intelmex División de Ingeniería Redes de Telecomunicaciones

Fuentes de información

Bibliografía

1. **Barranco Castellanos Benito, Apuntes de sistemas de comunicaciones E1 (ParteI), p 18- 20**
2. **G- 709, SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES**, Equipos terminales digitales – Generalidades SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO, INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN, Aspectos del protocolo Internet – Transporte.
3. **SDH NGN,**
4. **El valor de las OTN (redes de transporte óptico) en la convergencia de redes y la migración Ethernet/IP**, Ciena White Paper, © 2006 Ciena Corporation. Todos los derechos reservados. WP033A4ES 8.2006
5. **Guía de procedimientos del Cisco ONS 15454 SDH** Documentación y productos: Versiones 4.1 y 4.5 Julio de 2003.
6. **Guía de referencia para equipos cisco Carrier ethernet.**
7. **Inttelmex**, División de Ingeniería Redes de Telecomunicaciones
8. **Manual de referencia de Cisco ONS 15454 SDH** Documentación y productos: Versiones 4.1 y 4.5 Julio de 2003.
9. **Metro Ethernet Networks. Mark Whaley, Dinesh Mohan. Metro-ethernet-networks.pdf**
10. **Nueva Generación SONET/SDH Tecnologías y Aplicaciones**, Habisreitinger Werner.
11. **Recomendación UIT-R BT.601-6**

Páginas de Internet

1. http://www.dell.com/downloads/global/corporate/environ/comply/emc_dellemc_eu_ce_spanish.pdf
2. <http://es.wikipedia.org/wiki/Kevlar>
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones_de_Fresnel
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica
5. <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema09.htm>
6. <http://es.wikipedia.org/wiki/Crimpado>
7. http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon
8. <http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&t=3>
9. www.metroethernetforum.org/
10. <http://beraten.com.mx/>
11. <http://www.jdsu.com/Solutions/Pages/default.aspx>