



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

"EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE DE  
DATOS A REDES DE FIBRA ÓPTICA DE ALTA  
VELOCIDAD"

**TESIS**

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

**Cordero Leyva Jairo Vladimir  
Suarez Figueroa Javier**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



San Juan de Aragón, Estado de México, Junio de 2012.



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.

<b>Indice</b>	I
<b>Introducción</b>	III
<b>Capítulo 1</b> Jerarquía Digital Sincrona	1
1.1 Definición de SDH	1
1.1.1 STM-N	3
1.1.2 Elementos básicos de las redes SDH	4
1.1.3 Topologías de Red	5
1.2 Esquemas de protección SDH	6
1.2.1 Protección 1+1	6
1.2.2 Protección SNCP	7
1.2.3 Protección MS-SPRING	8
1.2.4 MS-SPRING de dos fibras	8
1.2.5 MS-SPRING de cuatro fibras	8
1.3 Estructura de la señal SDH	9
1.3.1 Tabla de coordenadas KLM	11
1.3.2 Diferencia entre trayecto y sección	12
1.3.3 Sección de regenerador y multiplex	12
1.4 Elementos de la trama STM-1	13
1.4.1 Trama STM-1	13
1.4.2 Encabezado de sección SOH	14
1.4.3 RSOH	15
1.4.4 MSOH	15
1.4.5 Ubicación de POH de VC4	16
1.5 Capacidad del canal en la transmisión de datos	17
1.5.1 Teorema de muestreo	18
<b>Capítulo 2</b> Redes ópticas de gran velocidad	23
2.1 Ventajas de las comunicaciones por fibra	23
2.2 Composición de las fibras ópticas	26
2.2.1 Tipos de fibra óptica	26
2.2.2 Características de la fibra óptica	31
2.2.3 Acoplamiento	41
2.2.4 Características no lineales de las fibras óptica	42
2.3 Estructura de los cables de fibra óptica	46
2.4 Equipos de medición de fibra óptica	49
2.5 Conectores de fibra óptica	54
2.5.1 El pulido de las férulas	57
2.5.2 Tipos de conectores	58
2.6 Cálculo de un enlace de fibra óptica	59
2.7 Tipos de conectorización de la fibra óptica	60
2.8 Atenuación de la fibra óptica	63
2.9 Elementos de una Red WDM	65
<b>Capítulo 3</b> Redes de Transporte de Alta Velocidad, Norma g-709	74
3.1 Evolución de SDH	74
3.1.1 Convergencia	75
3.1.2 SDH a futuro	76
3.2 SDH de nueva generación	77
3.2.1 Arquitectura Modular Multifuncional	79

3.2.2	Transporte en NG SDH	81
3.2.3	Procedimiento Genérico de Entramado	83
3.3	Concatenación Virtual	85
3.3.1	Comparación entre concatenación contigua y virtual	86
3.4	Interfaces para la red óptica de transporte	89
3.4.1	Estructura de la interfaz de la red óptica de transporte	89
3.4.2	Estructura de señal básica	90
3.4.3	Subestructura de OCh	91
3.4.4	Estructuras OTM-nr.m y OTM-0.m con funcionalidad reducida	91
3.4.5	Estructura de información para interfaces OTN	91
3.5	Principios de multiplexación/correspondencia y velocidades binarias	94
3.5.1	Correspondencia	94
3.5.2	Multiplexación por división de longitud de onda	94
3.6	Velocidades binarias y capacidad	95
3.7	Módulo de transporte óptico (OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-0.m)	96
3.7.1	OTM con funcionalidad reducida (OTM-0.m, OTM-nr.m)	96
3.7.2	OTM-0.m	97
3.7.3	OTM-16r.m	98
3.7.4	OTM con funcionalidad completa (OTM-n.m)	99
3.8	Unidad de transporte de canal óptico (OTU)	100
3.8.1	Estructura de trama de OTUk	100
3.8.2	Aleatorización	101
3.9	Descripción de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk	102
3.9.1	Definición de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk	103
3.9.2	Señal de alineación de multitrama (MFAS)	103
3.10	Descripción de OTUk OH	104
3.10.1	Definición de tara de OTUk	105
	<b>Conclusiones</b>	109
	<b>Bibliografía</b>	113

## **Objetivo**

Identificar la evolución de las redes de transporte de datos a redes de fibra óptica de alta velocidad así como las características y aplicaciones principales de la tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) de Nueva Generación, de acuerdo a los estándares internacionales. atendiendo la norma G. 709 de la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT).

## **Introducción**

El aumento de la demanda de mayor ancho de banda llevo a las empresas de telecomunicaciones a buscar nuevas y mejores opciones tecnológicas que les permitiera aprovechar mejor los recursos y lograr una mejor administración y control sobre los elementos de red, es así como estas necesidades y el desarrollo de las fibras ópticas llevaron a la creación de tecnologías que ofrecieron estas características.

La respuesta tecnológica por el lado americano fue encontrada en Sonet (Synchronous Optical Network por sus siglas en ingles, Redes Ópticas Síncronas) convirtiéndose rápidamente en un estándar por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés: American National Standards Institute), por su parte en la UIT (Unión internacional de Telecomunicaciones) se desarrolló la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) (Synchronous Digital Hierarchy) adoptada por Europa y la mayor parte del mundo. Ambas incluyen en su estructura la oportunidad invaluable de la administración centralizada, brindando a las empresas de telecomunicaciones un mayor control, calidad y disponibilidad de su red.

En la última década, el campo de las redes de comunicaciones ha experimentado un crecimiento exponencial en el tráfico de datos debido a la popularidad de Internet, a tal punto que en términos de volumen, el tráfico de datos ya ha superado con creces al tráfico de voz hoy en día. En el contexto de las redes de telecomunicación, esto conlleva un cambio previsible en el paradigma tecnológico que dará soporte a las futuras redes ópticas, evolucionando desde el actual, basado en conmutación de circuitos o canales ópticos hacia uno nuevo y más próximo al existente actualmente en el dominio eléctrico, el cual estará basado en la conmutación de paquetes IP (Internet Protocol) directamente en el dominio óptico. Además de la propia conmutación de los paquetes, la nueva plataforma basada en una única estructura de integración entre datos y voz debe ser capaz de proporcionar servicios de enrutamiento y gestión.

El presente trabajo de tesis está conformado de la siguiente manera

**Capítulo 1.** Se hace una descripción sobre los conceptos teóricos de la tecnología SDH (Jerarquía Digital Sincrona) y sus elementos básicos.

**Capítulo 2.** Se menciona de forma general general 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 3.** En esta parte se hace la comparación de la redes de alta velocidad de acuerdo a la recomendaciones G.709 donde se definen las Redes de Transporte Óptica (OTN) o Jerarquías de Transporte Óptico (OTH) como la nueva generación de tecnologías de transmisión digital.

Basada en el protocolo G.709, la tecnología OTN se está extendiendo más allá del dominio eléctrico de transición para el transporte digital, y se está convirtiendo rápidamente en un marco estándar para gestionar señales tanto eléctricas como ópticas. En otras palabras, impulsando longitudes de onda ópticas, la tecnología OTN ha permitido la transformación de las Redes de Transporte básicas en redes ópticas reales de múltiples longitudes de onda.

# Capítulo 1

## Jerarquía Digital Síncrona

### 1.1 Definición de SDH

La Jerarquía Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy por sus siglas en inglés), es un estándar internacional que establece la jerarquía de estructuras de transporte en redes de transmisión físicas, de contenidos útiles de información correctamente adaptados en un plan de Multiplexación síncrono.

SDH es un conjunto de interfaces estandarizadas conocida como Jerarquía Digital Síncrona y es una de las tecnologías más utilizadas en la Red de Transporte de los operadores telefónicos en México.

SDH permite el transporte de tráfico sobre fibra óptica, basándose en diversas estructuras de red que conecta las diferentes ciudades de la república (red dorsal), así como los múltiples nodos de acceso existentes dentro de las ciudades (Redes Locales).

La utilización de tecnología SDH en la red del operador dominante en México comienza en forma creciente desde principios de los 90's y continúa hasta nuestros días, lo que la convierte en un sobreviviente tecnológico de más de una década dentro de uno de los entornos más cambiantes del mercado.

Sin duda la implementación de SDH en las redes de transporte debe su razón a las muchas ventajas que ofrece:

- Mayores velocidades (mas transporte de información)
- Mayor calidad (tasas de errores de bits más bajas)
- Rentabilidad (menor equipamiento y mayor implementación)
- Interfaces estándares (interoperabilidad de fabricantes)
- Mayor Administración (Mayores funcionalidades de operación y mantenimiento)
- Mas arquitecturas de Red (anillo, bus, hub, etc.)



- Mayor transporte de señales e interfaces (PDH, ATM, HDTV etc.)

La tecnología **SDH** como su nombre lo indica, está organizada en distintos niveles jerárquicos que representan señales con menor o mayor cantidad de información agrupada, traducida en velocidades.

Anteriormente existían únicamente las jerarquías **STM-1** a la **STM-64**, pero actualmente, en la recomendación **G.707** de la **UIT** están definidas dos jerarquías adicionales, la **STM-0** y la **STM-256**.

Las interfaces **SDH** son llamadas Módulos de Transporte Síncrono de nivel “n” abreviadas **STM-n** las interfaces **SDH** y sus velocidades se muestran en la tabla 1.1

Designación SDH	Designación SONET	Velocidades en Mbits/s
<b>STM-1</b>	<b>STS-3/OC-3</b>	<b>155.520</b>
<b>STM-4</b>	<b>OC-12</b>	<b>622.080</b>
<b>STM-16</b>	<b>OC-48</b>	<b>2488.320</b>
<b>STM-64</b>	<b>OC-192</b>	<b>9953.280</b>
<b>STM-256</b>	<b>OC-768</b>	<b>39813.12</b>

Tabla 1.1 Interfaces de la Jerarquía Digital Síncrona Tabla 1.1 Se incluye equivalente SONET (Norma Americana para transporte síncrono), ya que es muy común encontrar la información en algunos proveedores de equipos de transporte y medición.

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 multiplexa 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. 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 un STM-4 y así respectivamente para cada orden.

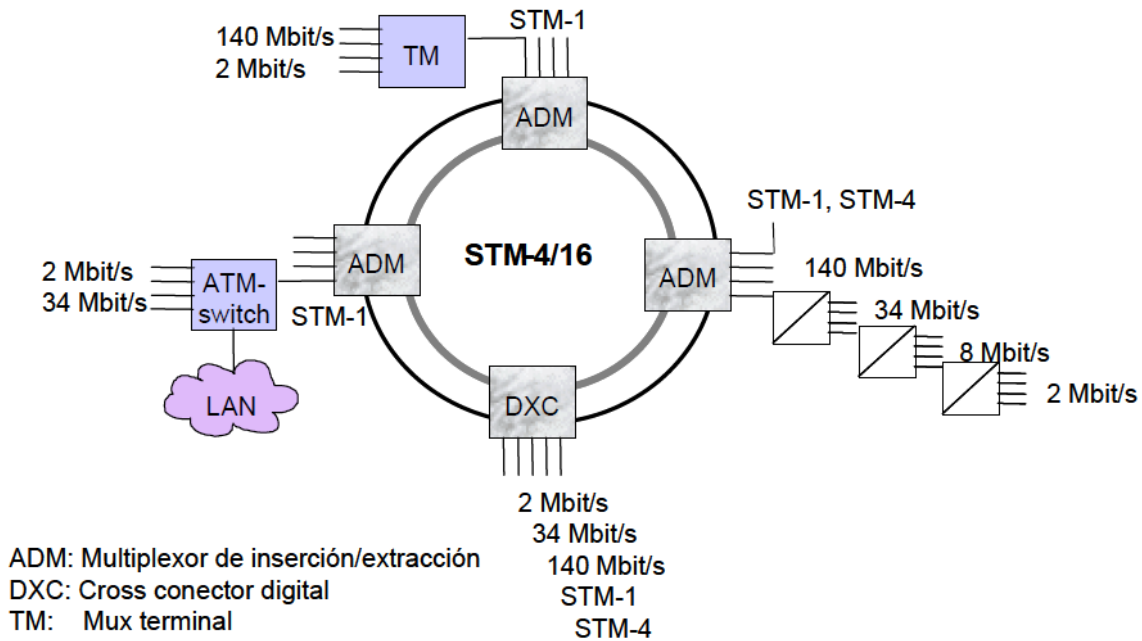


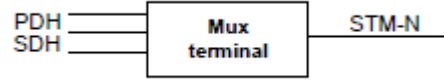
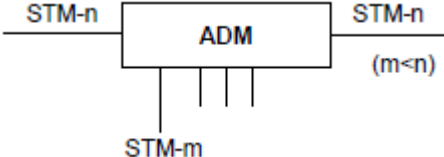
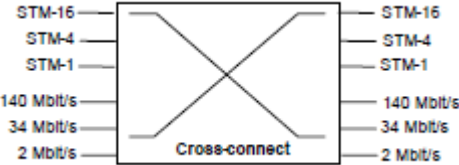
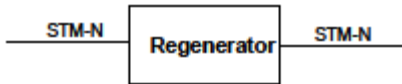
Fig.1.1 Ejemplo de varias aplicaciones de red transportadas por SDH

### 1.1.1 STM-N

Un STM (Modulo de transporte síncrono) es la estructura de información utilizada para soportar conexiones de capa de sección en la SDH. El STM básico se define a 155.520 Mbits/s, se denomina STM-1.

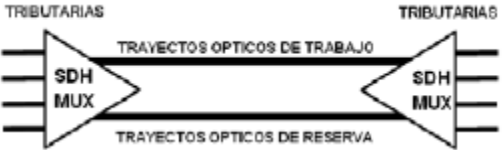
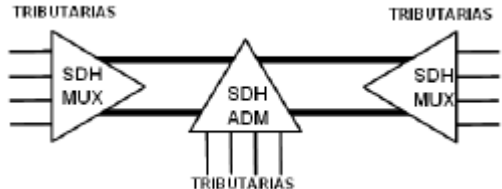
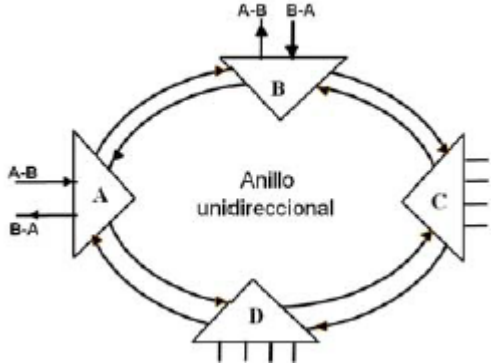
Los STM de mayor capacidad se constituyen a velocidades equivalentes STM-N, a N veces la velocidad básica. Se han definido capacidades de STM para N=4, N=16, N=64 y N=256.

1.1.2 Elementos básicos de las redes SDH

Elemento	Función	Esquema
<b>Mux Terminal</b>	El Multiplexor Terminal de Línea (MTL) puede aceptar un numero diverso de señales tributarias PDH o SDH, tales como 2, 34, 140 Mbps y/o STM-1 respectivamente, y multiplexarlas en una portadora óptica de mayor velocidad, somos STM-4 o STM-16	
<b>ADM</b>	Conocido como ADM o multiplexor de inserción-extracción (Add-Drop). El ADM permite insertar y extraer señales de orden más bajo, por ejemplo, señales de 2 Mbit/s	
<b>DXC Croos-Conector digital</b>	Dispositivo que permite conmutar las líneas de transmisión con diferentes velocidades. También un DXC es capaz de segregar señales de orden más bajo. Son conmutadores semipermanentes	
<b>Regeneradores</b>	Para la transmisión SDH, se requieren regeneradores aproximadamente cada 50 km. Estos equipos no son solo simples regeneradores, también tienen capacidades para el reporte de alarmar y para el monitoreo del desempeño de la transmisión, entre otras cosas	

### 1.1.3 Topologías de Red

Se entiende por topología de red a las configuraciones típicas que se pueden implementar, y cuya combinación permite realizar redes más complejas llamadas arquitecturas.

Configuración	Descripción	Esquema
Punto a punto	Las señales a transmitirse (tributarias) son multiplexadas, en un extremo, a través de un equipo multiplexor síncrono, para formar una carga de transporte STM-N generalmente óptico, el cual es conectado a través de un medio físico de transmisión directo hasta otro equipo multiplexor síncrono que recibe la carga y la demultiplexa para entregar las señales originales.	
Bus	En esta configuración se usan los multiplexores para dar conectividad a lo largo de la ruta. Los multiplexores están configurados para insertar o extraer canales en estos nodos.	
Anillo	En áreas donde la red es de muy alta capacidad y se necesite gran confiabilidad, los multiplexores síncronos se configuran como anillos de fibra "autorespaldados". Esta estructura puede reconfigurarse, aun si el anillo se queda sin gestión remota, manteniendo la continuidad del servicio	

## 1.2 Esquemas de protección SDH

Los esquemas de protección SDH permiten crear redes de transporte muy confiables, que protegen el tráfico de nuestros clientes, en caso de que la trayectoria del cable de fibra óptica que une elementos de red SDH se rompa.

Para lograr esto, SDH cuenta con varios esquemas de protección que permiten conmutar el tráfico de los clientes hacia trayectorias ópticas en buen estado y además las conmutaciones se deben hacer en tiempos imperceptibles para los clientes.

Cuando el daño en el cable de fibra óptica sea reparado, los servicios pueden regresar a la trayectoria óptica que normalmente se utilizaban como trayectoria de trabajo y liberan la trayectoria de respaldo.

### 1.2.1 Protección 1+1

La arquitectura de protección 1+1 tiene una ruta de trabajo W, una ruta de protección P y un puente permanente.

- En el lado de origen o local la señal a transmitir se puentea permanentemente a la ruta de protección.
- En el lado remoto se selecciona la mejor de las dos señales para demultiplexarse.
- Al dañarse una de las líneas de trabajo se conmuta a la línea de protección sin afectación al servicio.

En el esquema se muestra la transmisión bidireccional, es decir un flujo de señal de izquierda a derecha (de punta "A" hacia punta "B" del cliente), y otro flujo de derecha a izquierda (de punta "B" hacia punta "A" del cliente).

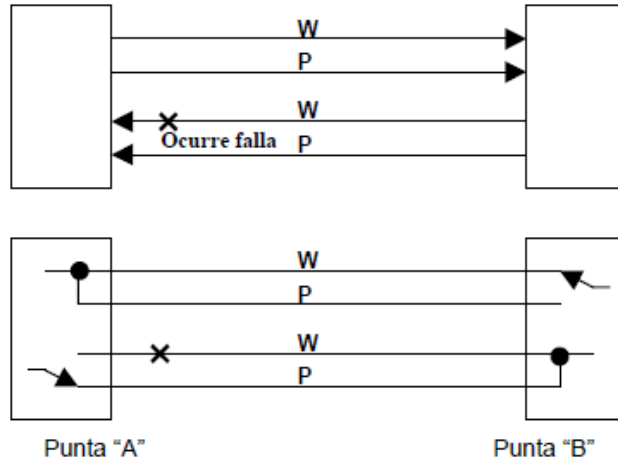


Fig. 1.2 Esquema de conmutación de protección 1+1

### 1.2.2 Protección SNCP

En el modo SNC-P (conexión de con protección de trayecto), el tráfico de una tributaria se envía en ambas direcciones (a la derecha y a la izquierda) alrededor del anillo. El nodo receptor compara las señales y selecciona la señal con mejor calidad.

Este modo también se conoce como anillo conmutado de trayecto unidireccional de 2 fibras (UPSR).

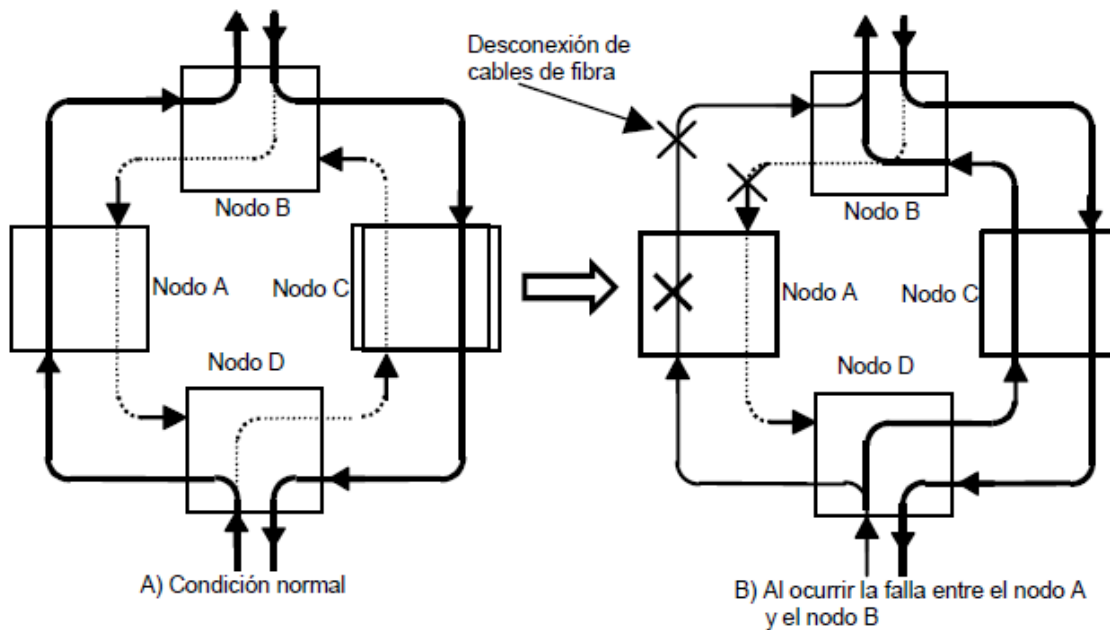


Fig. 1.3 Esquema de conmutación de protección SNCP

### 1.2.3 Protección MS-SPRING

Los anillos de protección compartida de sección de Multiplexación (MS-SPRING) pueden clasificarse en dos tipos: de dos fibras y de cuatro fibras. Es una tecnología más versátil y proporciona soluciones más económicas.

#### 1.2.4 MS-SPRING de dos fibras

En los anillos conmutados de sección de multiplexación (MS) de dos fibras, cada fibra transporta tanto los canales de servicio como los canales de protección. En cada fibra, la mitad de los canales están definidos como canales de servicio y la otra mitad como canales de protección. Los canales de servicio de una fibra están protegidos por los canales de protección de sentido opuesto alrededor del anillo.

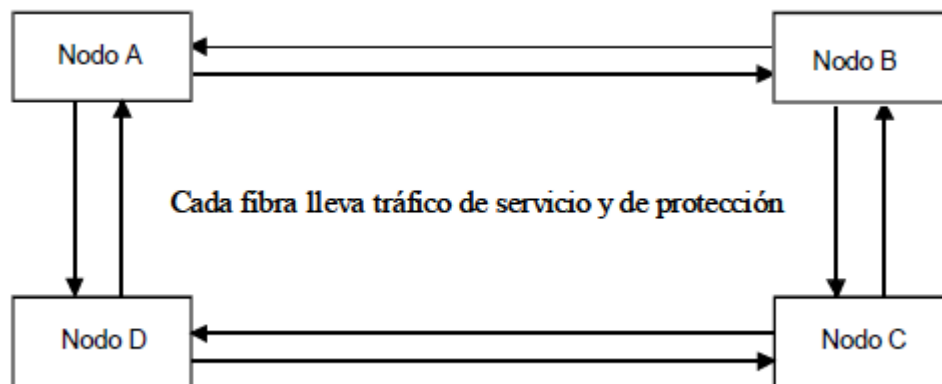


Fig. 1.4 Esquema de conmutación MS-SPRING de dos fibras

#### 1.2.5 MS-SPRING de cuatro fibras

En los anillos de protección compartida de sección de multiplexación (MS) de cuatro fibras, los canales de servicio y los de protección son transportados por fibras diferentes: dos secciones de multiplexación que transmiten en sentidos opuestos, esto es, que transportan los canales de servicio mientras que dos secciones de multiplexación, que transmiten también en sentidos opuestos, transportan los canales de protección.

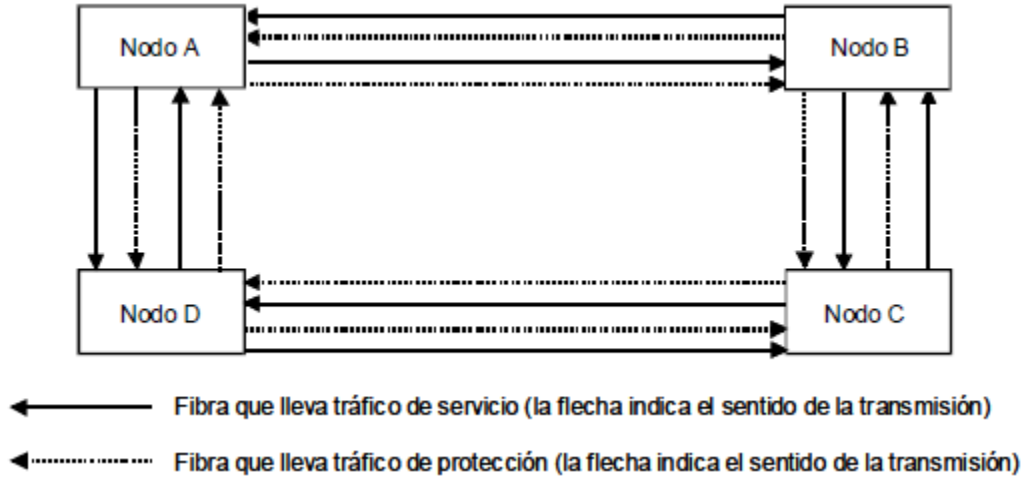


Fig. 1.5 Esquema de conmutación MS-SPRING de cuatro fibras

### 1.3 Estructura de la señal SDH

Para transportar la información de nuestros clientes, llamada también carga útil, se utilizan contenedores de un tamaño correspondiente a la velocidad que se requiere transportar.

La tecnología SDH proporciona la estructura de multiplexación requerida para transportar la carga útil más un encabezado que lleva básicamente la información de supervisión y alarmas de las capas de regeneración, multiplexación, trayectorias de alto y bajo orden de STM-N correspondiente.

Por ejemplo, para transportar la información E1 (2.048 Mbps) de un cliente, la tecnología SDH mapea en los conectores C-12 el E1 del cliente, y a continuación lo mapea en un contenedor virtual TU-12 VC-12, le agrega un puntero y obtiene la tributaria TU-12, la multiplexa con otras dos TU-12 y obtiene un grupo de unidad tributaria TUG-2, el cual se multiplexa con otros 6 TUG-2 y se obtiene un TUG-3, el cual se multiplexa con otros 2 TUG-3 para formar el VC-4, al agregarle un puntero se obtiene una unidad administrativa AU-4, formamos entonces una AUG-1, un grupo de unidad administrativa nivel 1, al agregarle el encabezado de sección de regeneración y de multiplexación obtenemos el módulo de transporte síncrono nivel 1 (STM-1).



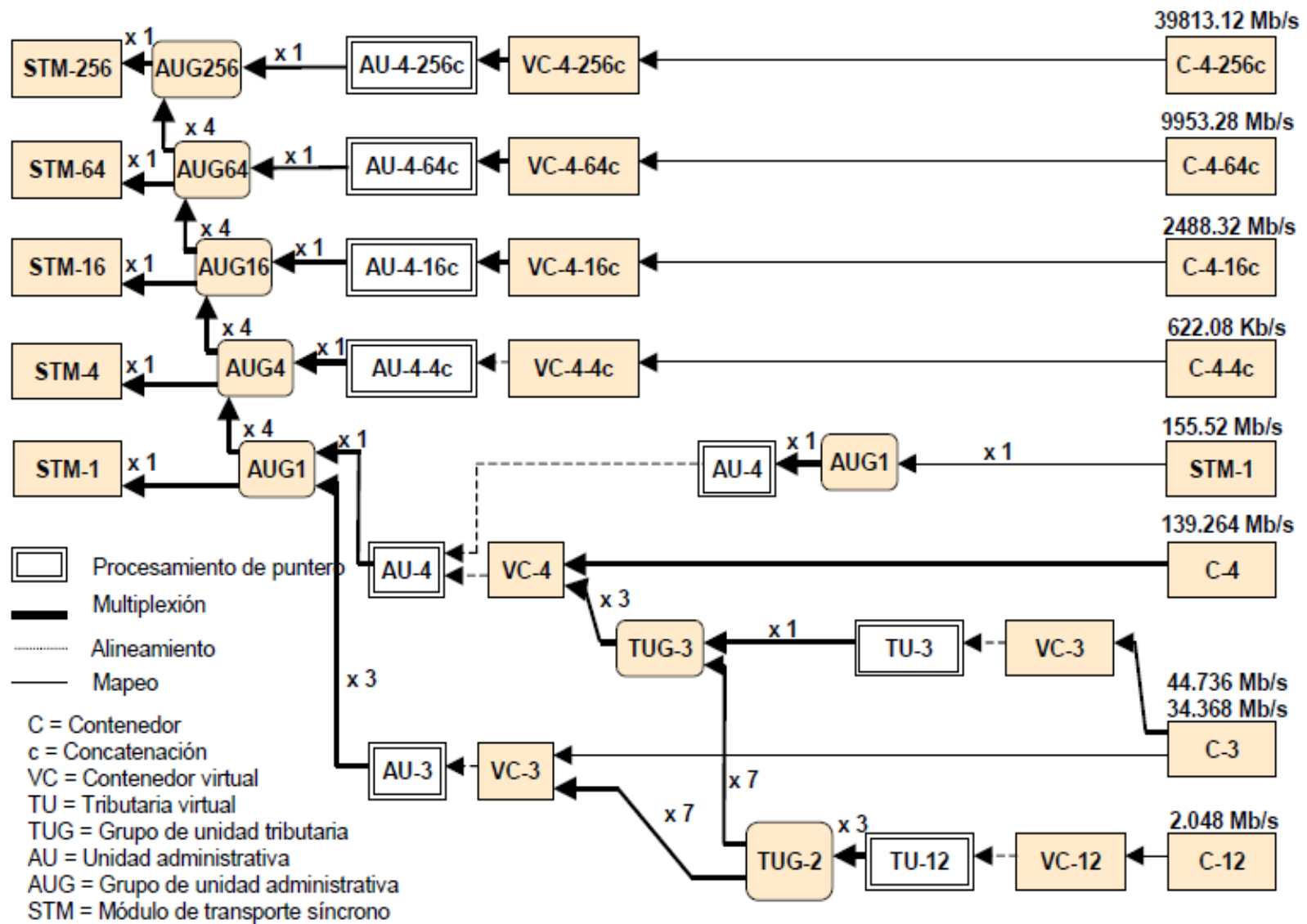


Fig. 1.6 Estructura básica de multiplexación de SDH.

**1.3.1 Tabla de coordenadas KLM**

**Uso de KLM**

Se usan para numerar las vías o tributarias E1 (63 en total) en función del TUG-3 (K), TUG-2 (L) y TU-12 (M) que ocupan de acuerdo a la norma G.707 de la UIT-T

ETSI (IUT-T)	TUG-3 K	TUG-2 L	TUG-12 M	ETSI (IUT-T)	TUG-3 K	TUG-2 L	TUG-12 M
1	1	1	1	33	2	4	3
2	1	1	2	34	2	5	1
3	1	1	3	35	2	5	2
4	1	2	1	36	2	5	3
5	1	2	2	37	2	6	1
6	1	2	3	38	2	6	2
7	1	3	1	39	2	6	3
8	1	3	2	40	2	7	1
9	1	3	3	41	2	7	2
10	1	4	1	42	2	7	3
11	1	4	2	43	3	1	1
12	1	4	3	44	3	1	2
13	1	5	1	45	3	1	3
14	1	5	2	46	3	2	1
15	1	5	3	47	3	2	2
16	1	6	1	48	3	2	3
17	1	6	2	49	3	3	1
18	1	6	3	50	3	3	2
19	1	7	1	51	3	3	3
20	1	7	2	52	3	4	1
21	1	7	3	53	3	4	2
22	2	1	1	54	3	4	3
23	2	1	2	55	3	5	1
24	2	1	3	56	3	5	2
25	2	2	1	57	3	5	3
26	2	2	2	58	3	6	1
27	2	2	3	59	3	6	2
28	2	3	1	60	3	6	3
29	2	3	2	61	3	7	1
30	2	3	3	62	3	7	2
31	2	4	1	63	3	7	3
32	2	4	2				

Tabla 1.2 Coordenadas KLM

### 1.3.2 Diferencia entre trayecto y sección

Trayecto es la conexión entre un punto donde se ensambla un VC y otro donde es desensamblado.

Un trayecto puede contener una o más secciones. Generalmente se visualiza la trayectoria, como la trayectoria del servicio desde la punta “A” hasta la punta “B” pasando por varias secciones de regeneración y multiplexación de SDH.

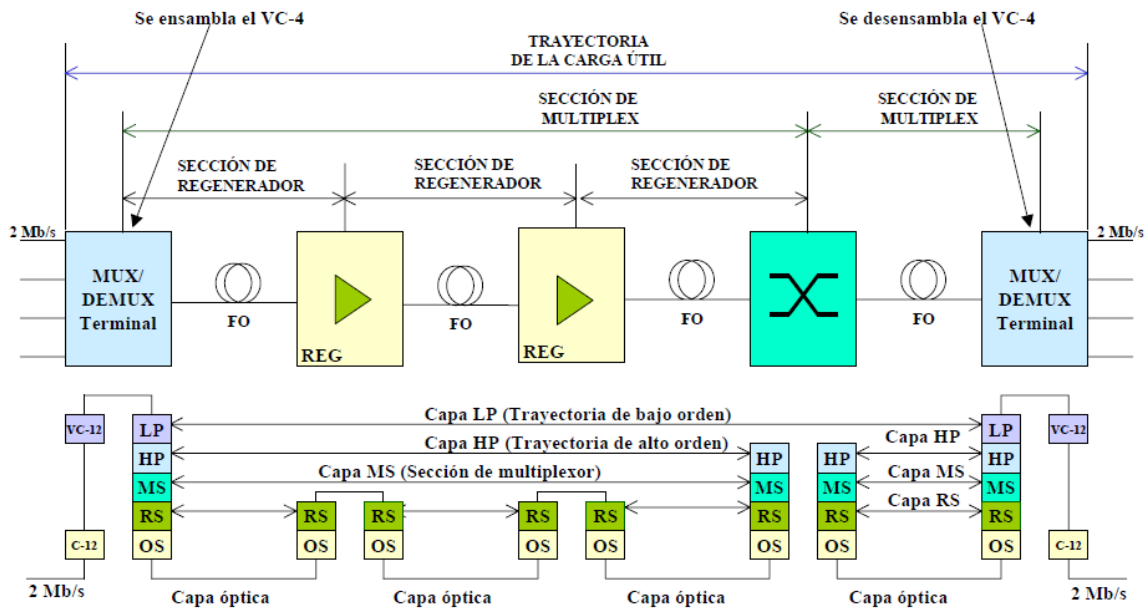


Fig. 1.8 Trayectos y secciones SDH

### 1.3.3 Sección de regenerador y multiplex

- Sección de regenerador.** La sección de regenerador representa un segmento en las facilidades de transmisión entre un elemento de red terminal (MUX, OXC o ADM), y un regenerador o entre regeneradores donde se genera o termina una señal STM.
- Sección de múltiplex.** La sección de múltiplex representa un segmento en las facilidades de transmisión entre elementos terminales de red (MUX, OXC o ADM), y contiene secciones de regeneración.

- o **Trayectoria de bajo orden** Permite contar con mantenimiento de extremo a extremo para un servicio de mapeo de VC-12.
- o **Trayectoria de alto orden.** Permite contar con mantenimiento de extremo a extremo a un nivel de VC-4 o VC-3.

#### 1.4 Elementos de la trama STM-1

Un STM-1 es la estructura básica utilizada para transportar información en redes SDH. Consta de campos de información de carga útil y de encabezados de sección (Section Over Head SOH) organizados en una estructura de trama que se repite cada 125 micros segundos. La información se adapta para su transmisión a una velocidad que se sincroniza con la red.

El STM básico se define a 155 520 kbit/s y se conoce como STM-1. Los STM de mayor capacidad se construyen a velocidades equivalentes a N veces la velocidad básica. Actualmente se han definido capacidades de STM para N=4, N=16, N=64 y N=256.

##### 1.4.1 Trama STM-1

Las primeras nueve columnas contienen la sección de encabezado y las restantes 261 integran un contenedor virtual de nivel 4 (VC-4) para la carga útil.

La parte del encabezado se integra por 3 filas de 9 bytes para el RSOH (encabezado de sección de regeneración) y 5 filas de 9 bytes para el MSOH (encabezado de sección multiplex).

El VC-4 contiene una columna para POH (encabezado de la trayectoria VC-4), las restantes 260 columnas contienen una carga útil con un total de 149.76 Mb/s.

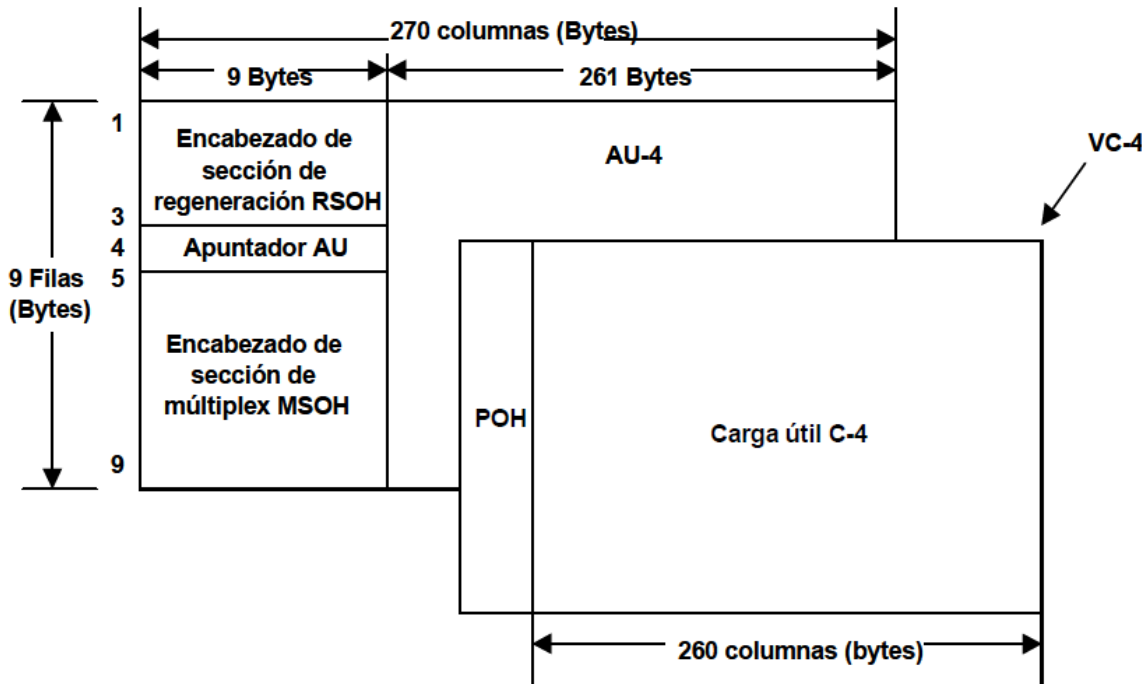


Fig. 1.9 Elementos de la trama STM-1

### 1.4.2 Encabezado de sección SOH

El encabezado de sección SOH contiene el encabezado de sección de regeneración (RSOH), el apuntador de unidad administrativa AU y el encabezado de sección multiplex (MSOH).

		9 COLUMNAS								
RSOH		A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0		
		B1			E1			F1		
		D1			D2			D3		
Apuntador AU		H1	XY	X	H2	1	1	H3	H3	H3
MSOH		B2	B2	B2	K1			K2		
		D4			D5			D6		
		D7			D8			D9		
		D10			D11			D12		
		S1					M1	E2		

Fig. 1.10 Encabezado de sección SOH.

### 1.4.3 RSOH

La sección de regenerador permite el mantenimiento entre los regeneradores o entre un regenerador y un elemento de red SDH.

- **A1, A2** Palabra de alineamiento de trama. Indica el inicio del STM-1 (A1:11110110, A2:00101000). En formato hexadecimal es A1: F6 y A2:28.
- **J0** Trazo de sección de regeneración. Usado para transmitir el identificador de punto de acceso con el fin de verificar en la sección receptora la conexión continua del origen de la trayectoria de señal.
- **B1** Monitoreo de errores de sección de regeneración. El BIP-8 se calcula sobre todos los bits de la trama STM-1 anterior. Y se coloca en el Byte B1 de la trama actual.
- **E1** Provee canal de línea de servicio para comunicación de voz entre regeneradores.
- **F1** Reservado para propósitos de usuario. (Ejemplo canal temporal de voz y datos para propósitos de mantenimiento).
- **D1- D3** Canal de comunicación de datos (DCC). Canal de 192 Kb/s, usado desde una ubicación central para alarmas, control, monitoreo y funciones de administración.

### 1.4.4 MSOH

Sección de encabezado de Multiplexor

- **B2** Monitoreo de error de la sección de múltiplex. El BIP-N \* 24 se utiliza para determinar si han ocurrido errores de transmisión en la sección de múltiplex. Se calcula sobre todos los bits de la trama anterior de SDH excepto para las primeras tres filas.
- **K1, K2** Asignados para conmutación automática de protección (APS) y señalización para protección de la sección múltiplex. En la siguiente página puedes consultar los mensajes APS de los bytes K.
- **D4-D12** Canales de comunicaciones de datos (DCC). A una velocidad de 576 Kb/s se utiliza desde una ubicación central para alarmas, control, monitoreo y funciones de administración.

- **M1** Asignado para usarse como un REI de sección múltiplex. Lleva el conteo de bloques de bit entrelazados detectados con error B2.
- **E2** Proporciona una canal de voz para las comunicaciones entre multiplexores.
- **S1** Estado de sincronía. Bits 5-8 son utilizados para transportar mensajes de sincronización. A continuación se asignan patrones de bits para los cuatro niveles de acuerdo a UIT-T. En la siguiente página puedes consultar los niveles de calidad del byte S1.

### 1.4.5 Ubicación de POH de VC4

En la figura se indica donde se ubica el encabezado de alto orden POH del contenedor virtual VC-4

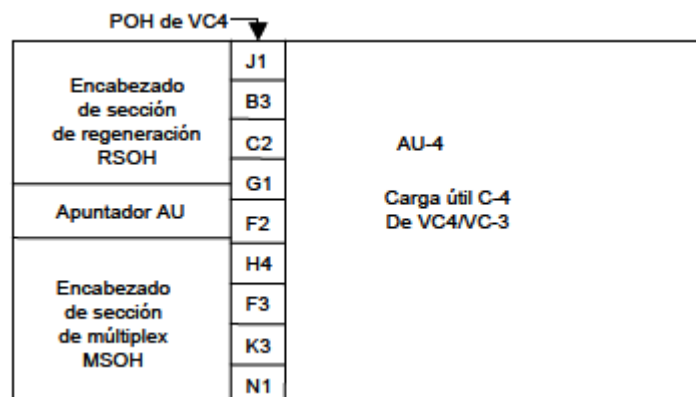


Fig. 1.11 Ubicación del POH del contenedor Virtual.

- **J1** Trazo del trayecto. Se utiliza para transmitir repetitivamente una cadena de caracteres de 64 o 16 bytes con el fin de verificar en cualquier terminal receptora la conexión continua de origen de la trayectoria de señal.
- **B3** Monitoreo de errores de trayectoria de alto orden. Contiene el valor de BIP-8 calculado sobre todos los bits del VC-n anterior.
- **C2** Etiqueta de señal. Indica la composición o el estado de mantenimiento del VC n.
- **G1** Estado de trayectoria. Lleva el estatus de la trayectoria y el desempeño de la terminación de trayectoria.

- **F2, F3** Canales de usuario de trayecto. Asignado para propósitos de comunicación de usuario entre elementos de trayectoria y depende de la carga útil.
- **H4** Indicador de posición y secuencia. Provee una multitrama e indicador de secuencia para concatenación virtual y posición generalizada.
- **K3** Señalización de APS. (b1-b4) Se asigna para conmutación automática de protección (APS) de alto orden. (b5-b8) para uso futuro.
- **N1** Byte operador de red. Asignado para proveer la función de Monitoreo de conexión en Tandem (TCM)<sup>1</sup>.

### 1.5 Capacidad del canal en la transmisión de datos

Cuando se realiza una transmisión de datos hay una gran variedad de efectos nocivos que distorsionan o corrompen la señal que contiene la información. Para los datos digitales, la cuestión a resolver es en qué medida estos efectos limitan la velocidad con la que se pueden transmitir.

Se denomina capacidad del canal a la velocidad máxima a la que se pueden transmitir los datos en un canal, o ruta de comunicación de datos, bajo unas condiciones dadas.

El problema considerado es el siguiente: los servicios de comunicaciones son por lo general caros y, normalmente, cuanto mayor es el ancho de banda requerido por el servicio, mayor es el coste. Es más, todos los canales de transmisión de interés práctico están limitados en banda.

Las limitaciones surgen de las propiedades físicas de los medios de transmisión o por limitaciones que se imponen deliberadamente en el transmisor para prevenir interferencias con otras fuentes. Por consiguiente, es deseable hacer un uso tan eficiente como sea posible del ancho de banda limitado. En el caso de los datos digitales, esto significa que dado un ancho de banda sería deseable conseguir la

---

<sup>1</sup> **Arzate** Molineros Pablo, Taller de tecnologías SDH y Ethernet, Abril 2010, pp. 1-15



mayor velocidad de datos posible no superando la tasa de errores permitida. El mayor inconveniente para conseguir este objetivo es la existencia de ruido.

### 1.5.1 Teorema de muestreo

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, es fundamental en la teoría de la información y 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*).

**Teorema de muestreo.** Cualquier forma de onda física puede estar representada en el intervalo  $-\infty < t < \infty$  por

$$w(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} a_n \frac{\text{sen}\{\pi f_s [t - (n/f_s)]\}}{\pi f_s [t - (n/f_s)]} \quad (1.1)$$

Donde

$$a_n = f_s \int_{-\infty}^{\infty} w(t) \frac{\text{sen}\{\pi f_s [t - (n/f_s)]\}}{\pi f_s [t - (n/f_s)]} dt \quad (1.2)$$

y  $f_s$  es un parámetro al que se le asigna un valor conveniente mayor que cero. Además si  $w(t)$  es de banda limitada a  $B$  hertz y  $f_s \geq 2B$ , entonces la ecuación (1.1) se convierte en la representación de la función de muestreo donde,

$$a_n = w(n/f_s) \quad (1.3)$$

Es decir, cuando  $f_s \geq 2B$  los coeficientes de la serie son simplemente los valores de la forma de onda obtenidos cuando se muestrea cada  $1/f_s$  segundos.

A continuación se examina el problema de reproducir una forma de onda de banda limitada con  $N$  valores de muestreo. Supóngase que se desea reproducir la forma

de onda en el intervalo  $T_0$  como se muestra en la figura 1.12a. En tal caso se puede trincar la serie de la función de muestreo de (1.1) para incluir solo  $N$  de las funciones  $\varphi_n(t)$  cuyos picos queden dentro del intervalo de interés. Es decir, la forma de onda se puede reconstruir de una manera aproximada con  $N$  muestras

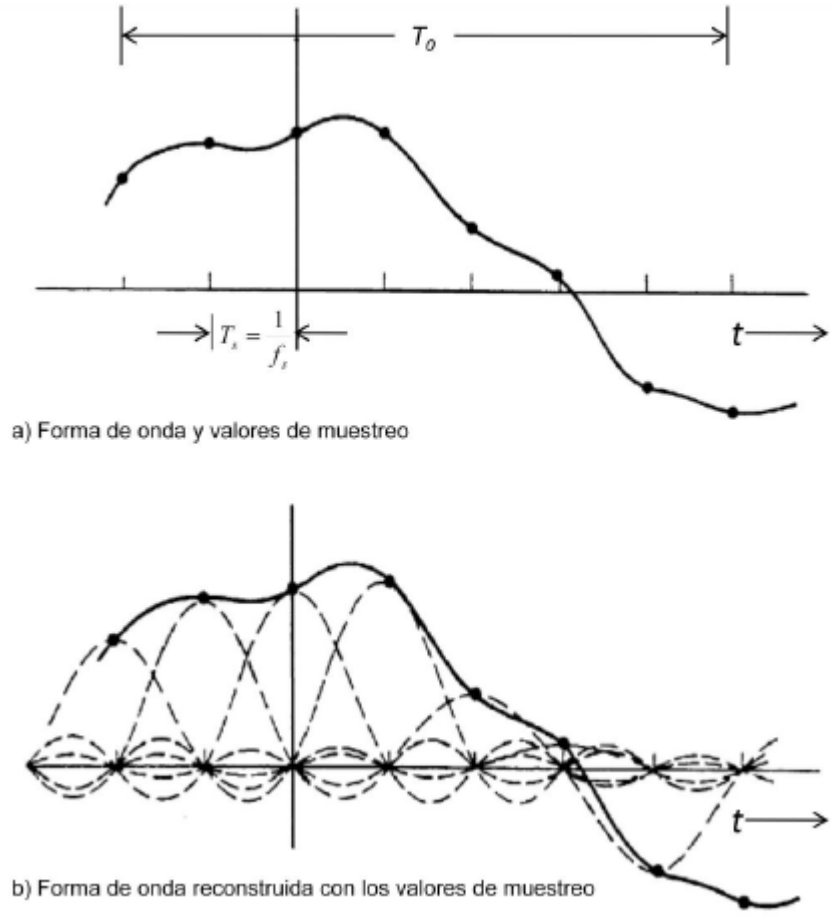


Fig. 1.12 Teorema de muestreo.

$$w(t) \approx \sum_{n=n_1}^{n=n_1+N} a_n \varphi_n(t) \tag{1.4}$$

donde las funciones  $\varphi_n(t)$

$$\varphi_n(t) = \frac{\text{sen}\{\pi f_s [t - (n/f_s)]\}}{\pi f_s [t - (n/f_s)]}$$

La figura 1.12b muestra la forma de onda reconstruida (línea llena) obtenida con la suma ponderada de formas de onda  $(\text{sen } x)/x$  retardadas (líneas de trazos), donde los pesos son los valores de muestreo,  $a_n = w(n/f_s)$ , denotados por los puntos. La forma de onda es de banda limitada a B hertz con la frecuencia de muestreo  $f_s \geq 2B$ .

El número mínimo de valores de muestreo para la reconstrucción de la forma de onda es:

$$N = \frac{T_0}{1/f_s} = f_s T_0 \geq 2BT_0 \tag{1.5}$$

y existen  $N$  funciones ortogonales en el algoritmo de reconstrucción. Se puede decir que  $N$  es el número de dimensiones necesario para reconstruir la aproximación de la forma de onda en el intervalo  $T_0$  segundos.

Si se desea reconstruir una forma de onda en tiempo real, con frecuencia se utiliza un procedimiento alternativo llamado muestreo de impulsos. La forma de onda se muestrea con un tren de impulsos de peso unitario. Esto se logra multiplicando la forma de onda con un tren de impulsos de peso unitario. La forma de onda muestreada resultante es

$$w_s(t) = w(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \delta(t - nT_s) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} w(nT_s) \delta(t - nT_s) \tag{1.6}$$

donde  $T_s = 1/f_s$ . Esta situación se ilustra en la figura 1.13, suponiendo que  $W(f)$  es real.

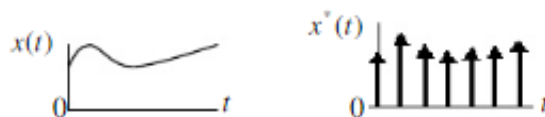


Fig. 1.13 Muestreo de impulsos.

En la figura 1.13 el peso (área) de cada impulso,  $w(nT_s)$ , está indicado por la altura. El espectro de la forma de onda  $w_s(t)$  muestreada por impulsos se evalúa sustituyendo la serie de Fourier del tren de impulsos (periódicos) en la ecuación (1.7)

$$w_s(t) = w(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T_s} e^{jn\omega_s t} \quad (1.7)$$

Considerando la transformada de Fourier de ambos lados de esta ecuación, se obtiene

$$\begin{aligned} W_s(f) &= \frac{1}{T_s} W(f) * \mathcal{F} \left[ \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\omega_s t} \right] = \frac{1}{T_s} W(f) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathcal{F}[e^{jn\omega_s t}] \\ &= \frac{1}{T_s} W(f) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_s) \end{aligned}$$

ó

$$W_s(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} W(f - nf_s) \quad (1.8)$$

El espectro de la forma de onda muestreada por impulsos se compone del espectro de la forma de onda no muestreada replicada cada  $f_s$  Hz. Esto se muestra en la figura 1.14 . Obsérvese que la técnica de muestreo por impulsos se puede usar para transformar el espectro de una señal en otra banda de frecuencia centrada en un armónico de la frecuencia de muestreo.

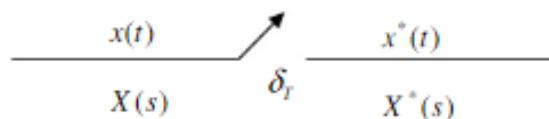


Fig.1.14 onda muestreada por impulsos se compone del espectro de la forma de onda no muestreada replicada cada  $f_s$  Hz

Si  $f_s \geq 2B$ , tal como se ilustra en la figura 1.xx, los espectros replicados no se superponen y se puede regenerar el espectro original recortando  $W_s(f)$  por encima de  $f_s/2$ . De este modo  $w(t)$  se puede reproducir a partir de  $w_s(t)$  simplemente con pasar  $w_s(t)$  a través de un filtro pasabajas ideal cuya frecuencia de corte sea  $f_c = f_s/2$  donde  $f_s \geq 2B$ . Si  $f_s < 2B$  (es decir, la forma de onda está submuestreada), el espectro de  $w_s(t)$  se compondrá de espectros replicados de  $w_s(t)$  superpuestos.

## Capítulo 2

### Redes ópticas de gran velocidad

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.

#### 2.1 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)<sup>1</sup> o interferencia de radiofrecuencia (RFI)<sup>2</sup>, 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

---

<sup>1</sup> **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](http://www.dell.com/downloads/global/corporate/environ/comply/emc_dellemc_eu_ce_spanish.pdf)  
<sup>2</sup> 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](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.

## 2.2 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.

### 2.2.1 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.

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

Tabla 3.1 Ventanas de operación de la fibra óptica.

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.

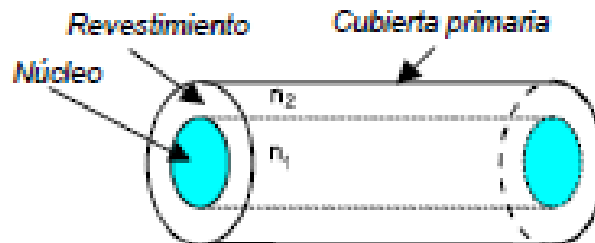


Fig. 2.1 Constitución de la fibra óptica.

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.2.2) 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.

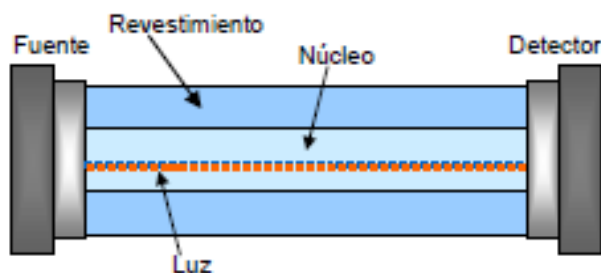


Fig. 2.2 Fibra Óptica Tipo Monomodo.

**Multimodo:** Contiene varios modos de propagación y ocurre en consecuencia el efecto de dispersión<sup>3</sup> (Fig.2.3) 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.

<sup>3</sup> 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).

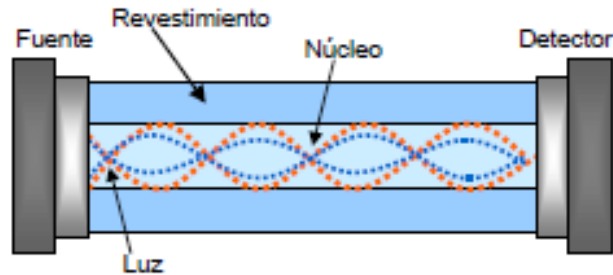


Fig. 2.3 Fibra Óptica tipo multimodo.

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 ( $\lambda_0$ ) 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 ( $\lambda_0$ ) 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, 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.

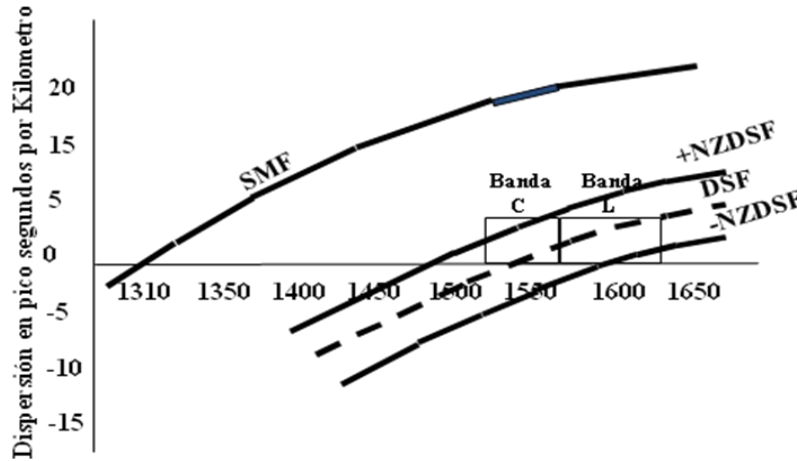


Fig. 2.4 Ventanas de operación de la fibra óptica.

### 2.2.2 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. 2.5, y está directamente relacionado a los materiales con los que ha sido construida la fibra.

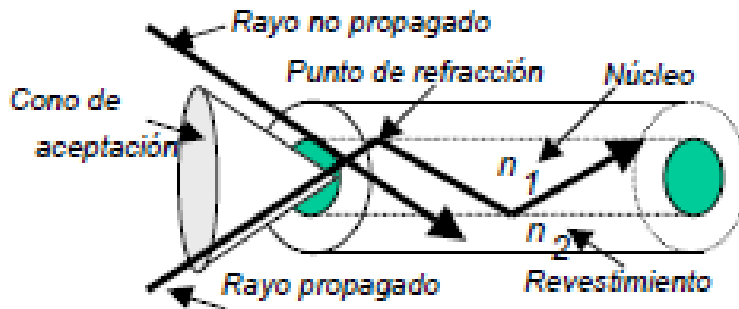


Fig. 2.5 Cono de aceptación de la fibra óptica.

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.

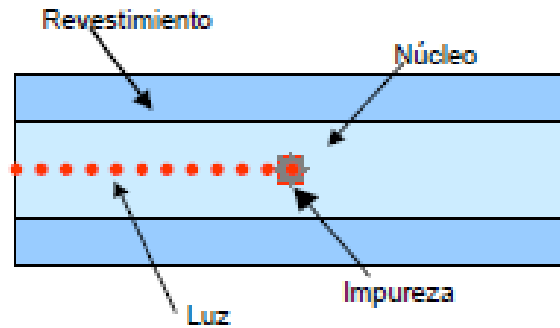


Fig. 2.6 Impurezas en fibra óptica.

**Reflexión,**La reflexión es el cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial. Ejemplos comunes son la reflexión de la luz, el sonido y las ondas en el agua.

Es el cambio de dirección, en el mismo medio, que experimenta un rayo luminoso al incidir oblicuamente sobre una superficie. Para este caso las leyes de la reflexión son las siguientes:

- 1a. ley:** El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal, se encuentran en un mismo plano.
- 2a. ley:** El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión

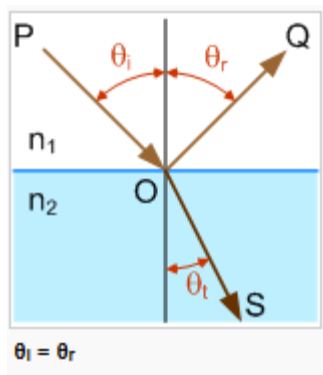


Fig. 2.7 Leyes de reflexión.

Cuando en la refracción el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico ocurre lo que se conoce como reflexión interna total. Cálculo del ángulo crítico:

$$\sin \alpha_c = n_{2,1} \quad (2.1)$$

en fórmula:

$\alpha_c$  : ángulo crítico;

$n_{2,1}$  : índice de refracción

**Índice de refracción** es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo. De forma más precisa, el índice de refracción es el cambio de la fase por unidad de longitud, esto es, el número de onda en el medio ( $k$ ) será  $n$  veces más grande que el número de onda en el vacío ( $k_0$ ).

El índice de refracción ( $n$ ) está definido como el cociente de la velocidad ( $c$ ) de un fenómeno ondulatorio como luz o sonido en el de un medio de referencia respecto a la velocidad de fase ( $v_p$ ) en dicho medio:

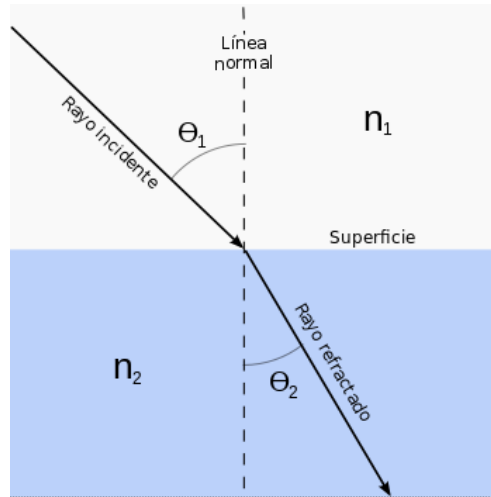
$$n = \frac{c}{v_p}. \quad (2.2)$$

Generalmente se utiliza la velocidad de la luz ( $c$ ) en el vacío como medio de referencia para cualquier materia, aunque durante la historia se han utilizado otras referencias, como la velocidad de la luz en el aire. En el caso de la luz, es igual a:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}, \quad (2.3)$$



Donde  $\epsilon_r$  es la permitividad relativa del material, y  $\mu_r$  es su permeabilidad electromagnética relativa. Para la mayoría de los materiales,  $\mu_r$  es muy cercano a 1 en frecuencias ópticas, es decir, luz visible, por lo tanto,  $n$  es aproximadamente  $\sqrt{\epsilon_r}$ .



**Fig. 2.8** la luz en la interfaz entre dos medios con diferentes índices de refracción ( $n_2 > n_1$ ). Como la velocidad de fase es menor en el segundo medio ( $v_2 < v_1$ ), el ángulo de refracción  $\theta_2$  es menor que el ángulo de incidencia  $\theta_1$ ; esto es, el rayo en el medio índice mayor es cercano al vector normal

**ley de Snell** es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord Snel van Royen (1580-1626). La denominaron "Snell" debido a su apellido pero le pusieron dos "l" por su nombre Willebrord el cual lleva dos "l".

La misma afirma que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de la onda varíe.

Consideremos dos medios caracterizados por índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  separados por una superficie S. Los rayos de luz que atraviesen los dos medios se refractarán en la superficie variando su dirección de propagación dependiendo del cociente entre los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ .

Para un rayo luminoso con un ángulo de incidencia  $\theta_1$  sobre el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación del rayo, tendremos que el rayo se propaga en el segundo medio con un ángulo de refracción  $\theta_2$  cuyo valor se obtiene por medio de la ley de Snell.

$$n_1 \operatorname{sen}\theta_1 = n_2 \operatorname{sen}\theta_2 \quad (2.4)$$

$$n = C/v \quad (2.5)$$

Obsérvese que para el caso de  $\theta_1=0$  (rayos incidentes de forma perpendicular a la superficie) los rayos refractados emergen con un ángulo  $\theta_2=0$  para cualquier  $n_1$  y  $n_2$ .

La simetría de la ley de Snell implica que las trayectorias de los rayos de luz son reversibles. Es decir, si un rayo incidente sobre la superficie de separación con un ángulo de incidencia  $\theta_1$  se refracta sobre el medio con un ángulo de refracción  $\theta_2$ , entonces un rayo incidente en la dirección opuesta desde el medio 2 con un ángulo de incidencia  $\theta_2$  se refracta sobre el medio 1 con un ángulo  $\theta_1$ .

Una regla cualitativa para determinar la dirección de la refracción es que el rayo en el medio de mayor índice de refracción se acerca siempre a la dirección de la normal a la superficie. La velocidad de la luz en el medio de mayor índice de refracción es siempre menor.

La ley de Snell se puede derivar a partir del principio de Fermat, que indica que la trayectoria de la luz es aquella en la que los rayos de luz necesitan menos tiempo para ir de un punto a otro. En una analogía clásica propuesta por el físico Richard

Feynman, el área de un índice de refracción más bajo es substituida por una playa, el área de un índice de refracción más alto por el mar, y la manera más rápida para un socorrista en la playa de rescatar a una persona que se ahoga en el mar es recorrer su camino hasta ésta a través de una trayectoria que verifique la ley de Snell, es decir, recorriendo mayor espacio por el medio más rápido y menor en el medio más lento girando su trayectoria en la intersección entre ambos.

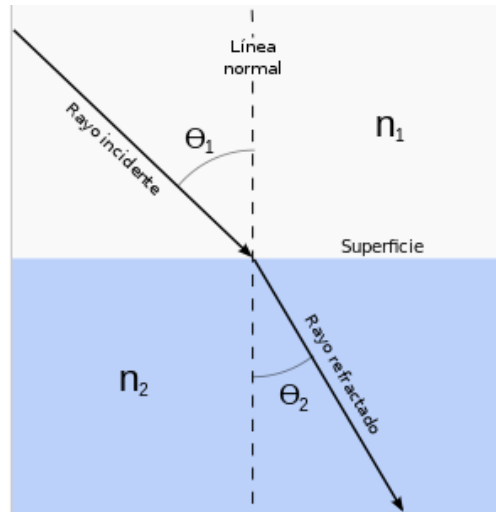


Fig. 2.9  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción de los materiales. La línea entrecortada delimita la línea normal, la cual es la línea imaginaria perpendicular a la superficie. Los ángulos  $\theta$  son los ángulos que se forman con la línea normal, siendo  $\theta_1$  el ángulo de la onda incidente y  $\theta_2$  el ángulo de la onda refractada

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.

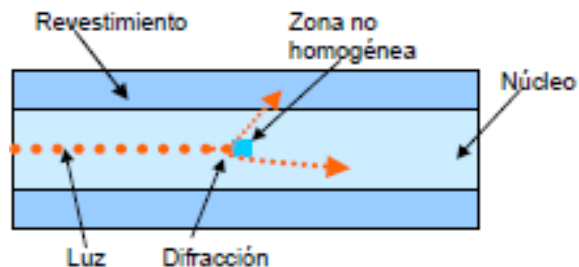


Fig. 2.10 Dispersión Rayleigh.

La dispersión de Rayleigh (en honor a Lord Rayleigh) es la dispersión de la luz visible o cualquier otra radiación electromagnética por partículas mucho menores que la longitud de onda de los fotones dispersados. Ocurre cuando la luz viaja por sólidos y líquidos transparentes, pero se ve con mayor frecuencia en los gases. La dispersión de Rayleigh de la luz solar en la atmósfera es la principal razón de que el cielo se distinga azul.

Si bien el término *dispersión* está muy extendido en la literatura científica (junto con el anglicismo *scattering*, que a menudo se encuentra sin traducir en textos en español), el término recomendado por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales es *esparcimiento*, recomendando el uso de *dispersión* a la dispersión de la luz en los diversos colores que componen su espectro.

Si el tamaño de las partículas es mayor que la longitud de onda, la luz no se separa y todas las longitudes de onda no son dispersadas, como cuando al atravesar una nube, esta se ve blanca, lo mismo pasa cuando atraviesa los granos de sal y de azúcar. Para que la luz sea dispersada, el tamaño de las partículas debe ser similar o menor que la longitud de onda.

El grado de dispersión de Rayleigh que sufre un rayo de luz depende del tamaño de las partículas y de la longitud de onda de la luz, en concreto, del coeficiente de dispersión y por lo tanto la intensidad de la luz dispersada depende inversamente de la cuarta potencia de la longitud de onda, relación conocida como Ley de Rayleigh. La dispersión de luz por partículas mayores a un décimo de la longitud

de onda se explica con la teoría de Mie, que es una explicación más general de la difusión de radiación electromagnética.

La intensidad  $I$  de la luz dispersada por una pequeña partícula en un haz de luz de longitud de onda  $\lambda$  e intensidad  $I_0$  viene dada por:

$$I = I_0 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2 \left(\frac{d}{2}\right)^6 \quad (2.6)$$

Dónde:

$R$  = es la distancia a la partícula,

$\theta$  = es el ángulo de dispersión,

$n$  = es el índice de refracción de la partícula y

$d$  = es el diámetro de la partícula.

En el caso de luz polarizada (y si no se puede generalizar) también lo podemos expresar:

$$I = I_0 |\sigma(\theta, \phi)|^2 \frac{(2\pi)^2}{(\lambda R)^2} \quad (2.7)$$

$$\sigma(\theta, \phi) = A(\theta) \text{sen}(\phi) \hat{e}_\phi + B(\theta) \text{cos}(\phi) \hat{e}_\theta \quad (2.8)$$

en donde:

$\sigma$  = es el coeficiente de dispersión de Rayleigh

$\theta$  y  $\phi$  = son los ángulos en coordenadas esféricas

y el coeficiente de dispersión de Rayleigh viene dado por la siguiente expresión matemática

$$\sigma_s = \frac{2\pi^5 d^6}{3 \lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2 \quad (2.9)$$

El coeficiente de dispersión de Rayleigh para un grupo de partículas es el número de partículas por unidad de volumen  $N$  veces la sección transversal. Como en todos los efectos de onda, en la dispersión incoherente las potencias son sumadas aritméticamente, mientras que en la dispersión coherente (como sucede cuando las partículas están muy cerca unas de otras) los campos son sumados aritméticamente y la suma debe ser elevada al cuadrado, para obtener la potencia final<sup>4</sup>.

**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. 2.11) Cuando la fuente es un rayo láser no existe este problema.

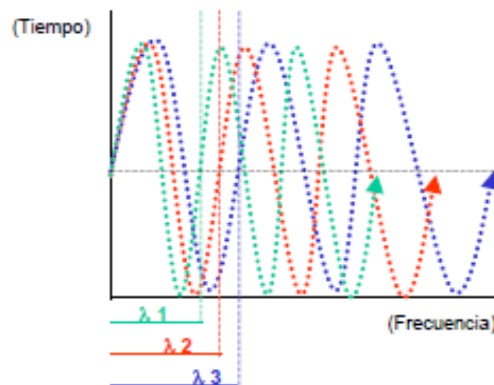


Fig. 2.11 Dispersión cromática.

**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.

<sup>4</sup> [http://apuntescientificos.org/ley\\_de\\_rayleigh.html](http://apuntescientificos.org/ley_de_rayleigh.html)

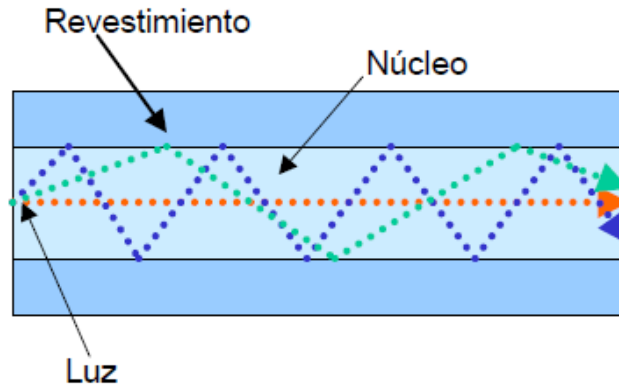


Fig. 2.12 Dispersión Modal.

**Radiación:** Son causadas por pequeños dobleces e irregularidades, Fig. 2.13 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.

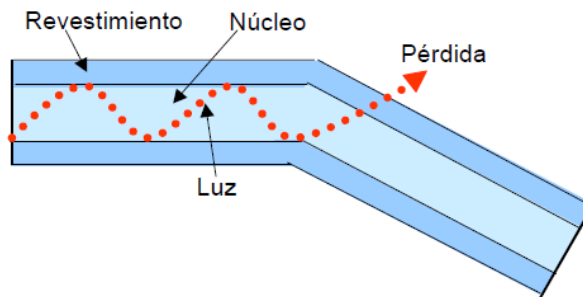


Fig. 2.13 Radiación causada por pequeños dobleces e irregularidades

**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. 2.14) 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).

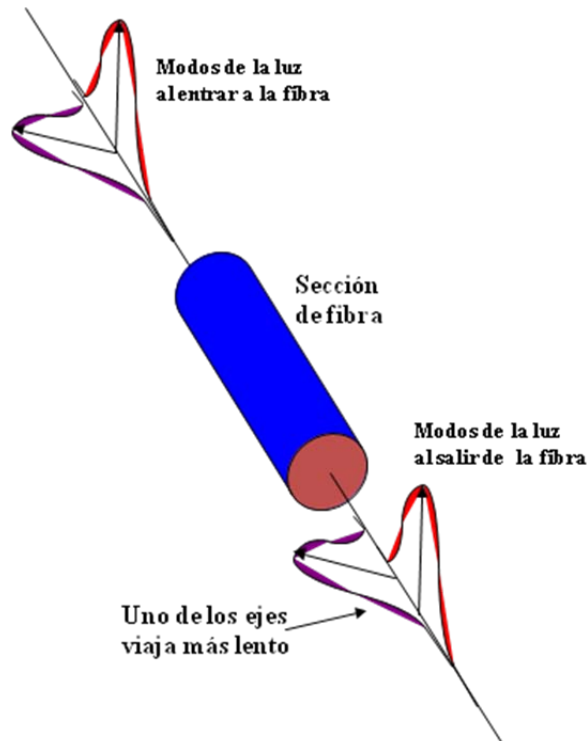


Fig. 2.14 Dispersión del modo de polarización

### 2.2.3 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. 2.15.

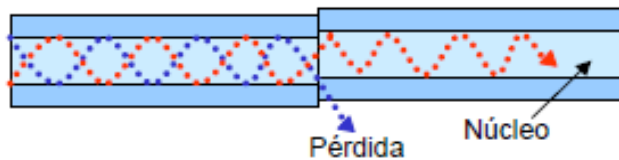


Fig. 2.15 Mala alineación lateral.

**Mala alineación de la separación:** Cuando se empalman o se conectan y quedan separadas las fibras, Fig. 2.16.



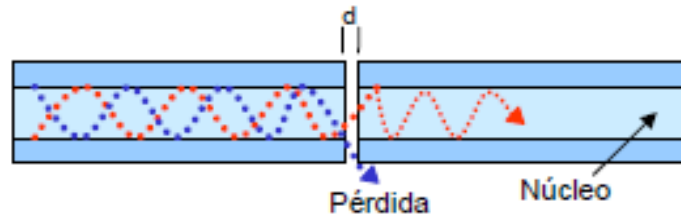


Fig. 2.16 Mala alineación de la separación

**Mala alineación angular:** Si el desplazamiento angular es mayor a 2 grados, Fig. 2.17.

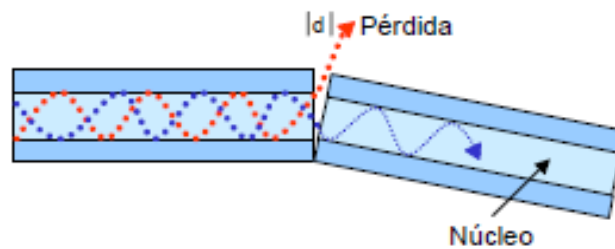


Fig. 2.17 Mala alineación angular.

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

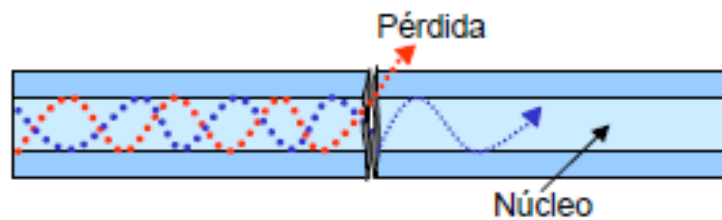


Fig. 2.18 Acabado de superficie imperfecta.

#### 2.2.4 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  $\lambda_0$  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.

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

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

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 más 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  $\lambda_0$  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. 2.19

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.

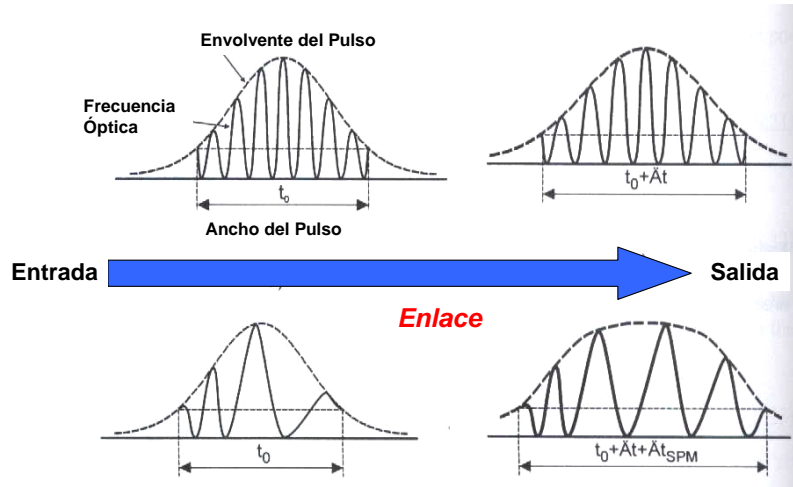


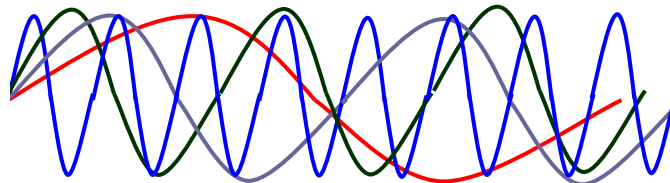
Fig. 2.19 Auto modulación en fase.

### 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. 2.20.

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. 2.20 Modulación de Fase Cruzada (XPM).

### 2.3 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, Kevlar<sup>5</sup> 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.

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  $\mu\text{m}$  de diámetro que rodea al recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$  de la fibra óptica.

---

<sup>5</sup> 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>

**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).

## 2.4 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

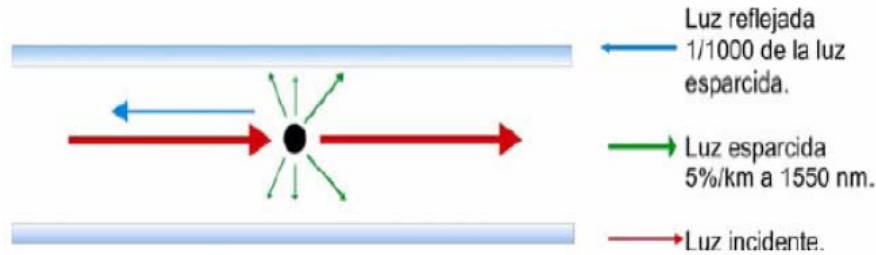


Fig. 2.21 Efectos de la luz en el Esparcimiento de Rayleigh

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.

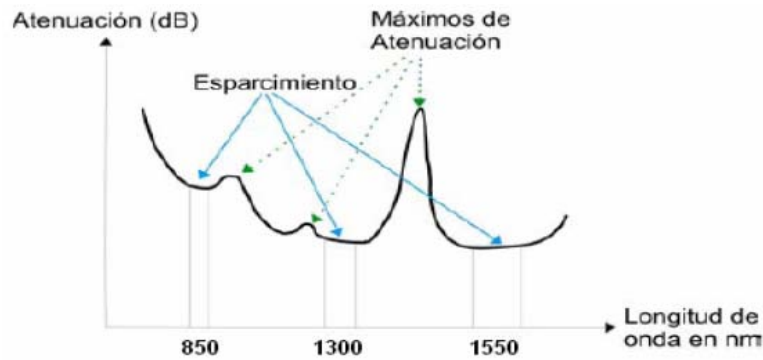


Fig. 2.22 Grafica de atenuación vs. Longitud de onda del Esparcimiento Rayleigh.

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 distintos<sup>6</sup>.

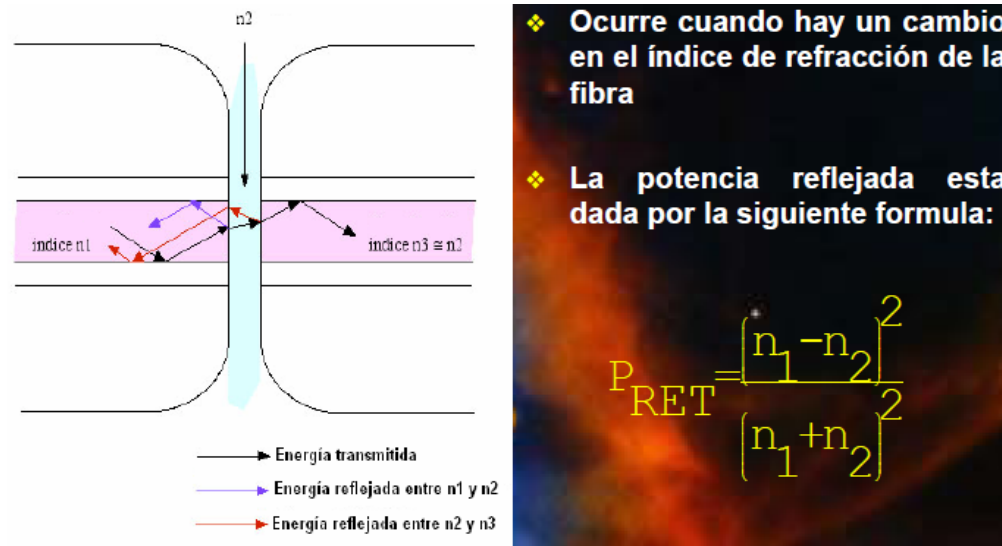


Fig. 2.23 Reflexión de Fresnel

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.

<sup>6</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones\\_de\\_Fresnel](http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones_de_Fresnel)

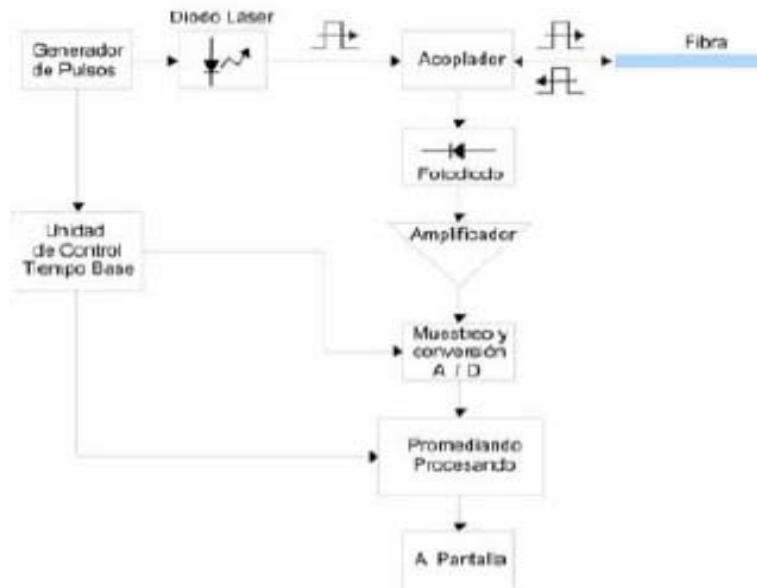


Fig. 2.24 diagrama a bloques de un otdr.

### 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. 2.25.

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

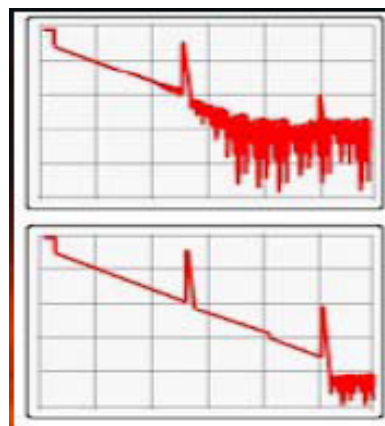


Fig. 2.25 Rango dinámico de un OTDR.

**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.

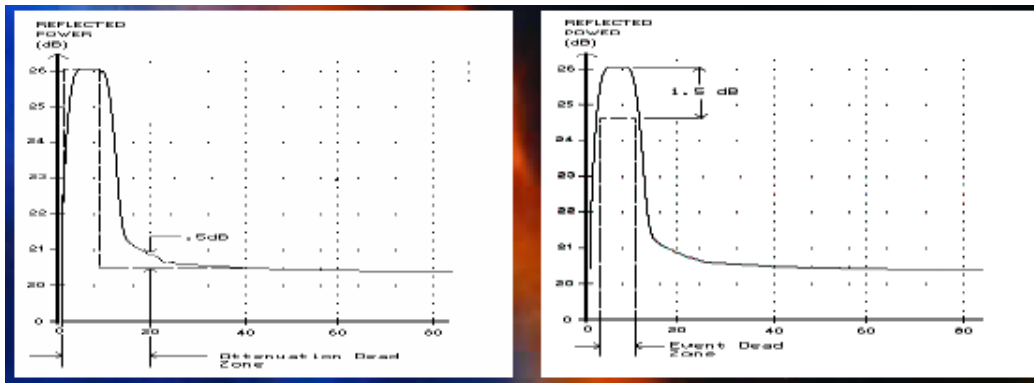


Fig. 2.26 Grafica de zona muerta.

**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.

## **2.5 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.

### **2.5.1 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  $8^{\circ}$  que desviará al revestimiento todas aquellas reflexiones que no coincidan con el modo principal.

### 2.5.2 Tipos de conectores

**ST.** Los conectores ST fueron creados en los 80`s por AT&T y deriva del ingles "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 crimpado<sup>7</sup> (Es el que sujeta la fibra al conector), Bota (Es el mango del conector).

---

<sup>7</sup> **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

**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 telefonías, CATV.

## 2.6 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.

Si es Fibra MM trabajando a 850nm (Longitud de Onda) la atenuación por kilómetro 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

---

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>

**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

## 2.7 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)

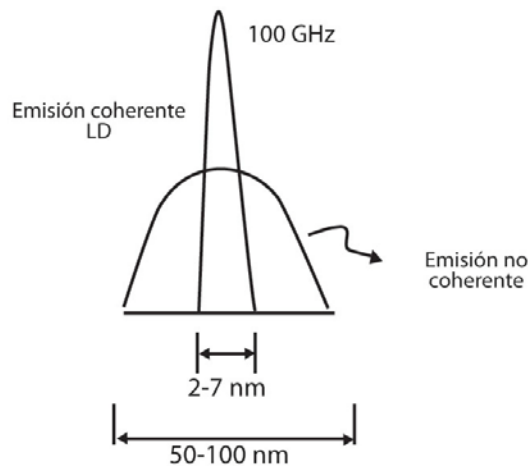


Fig. 2.27 Diodo Led.

**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.. 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. 2.28

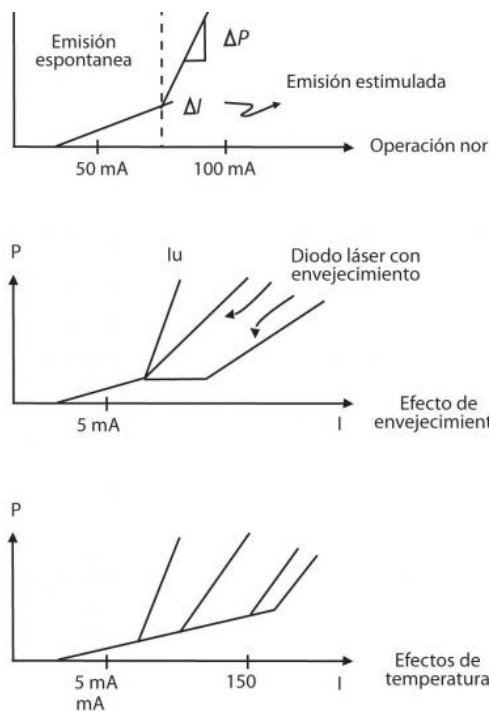


Fig. 2.28 Corriente de umbral.

**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)

## 2.8 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 OTDR<sup>8</sup>.

## 2.9 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  $\lambda$ , cada una con capacidades de STM16. Actualmente se desarrollan aplicaciones para ampliar cada vez más el número de capas, colores o  $\lambda$  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.

---

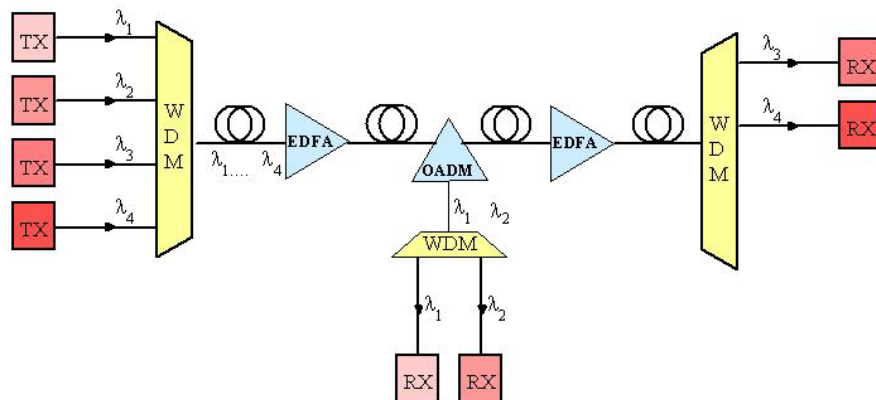
<sup>8</sup> <http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&t=3>



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. 2.29

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. 2.29 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.

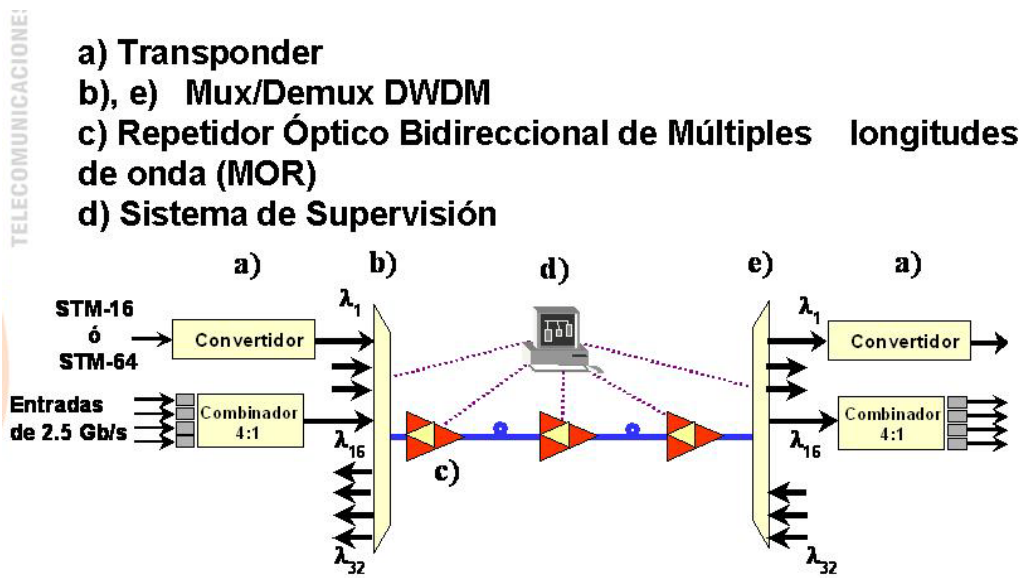


Fig. 2.30 Sistema DWDM.

**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. 2.31).

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

**El diodo LED (Light Emisor 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

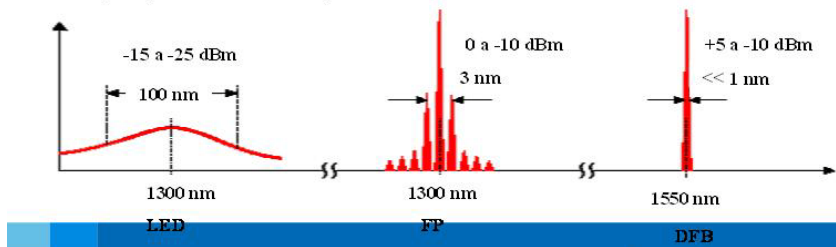


Fig. 2.31 Espectros de potencia de transmisores

Aun cuando este espaciamiento 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.

Similarmenete, 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. 2.32.

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.

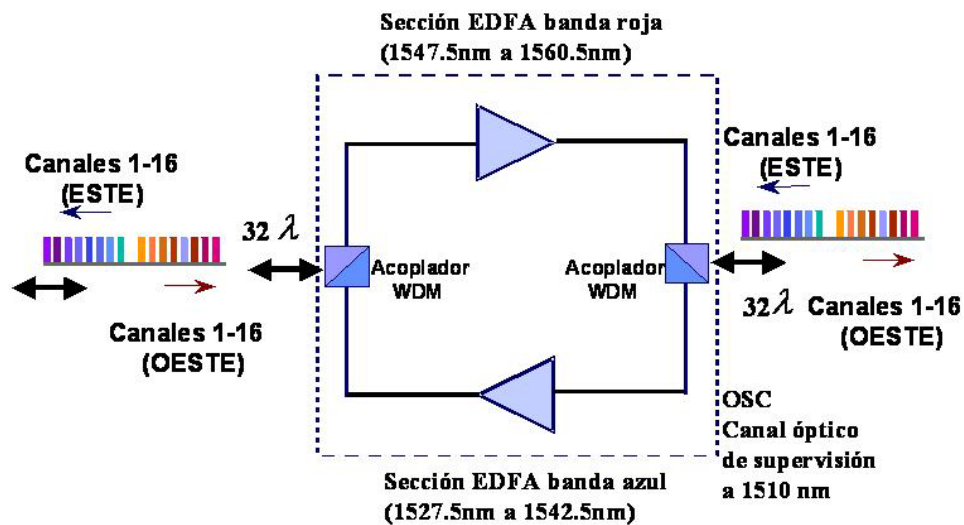


Fig. 2.32 Repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda.

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.2.33). Algunos operadores de red ya han desplegado ROADMs en sus redes de larga distancia, y más recientemente lo están haciendo en el entorno metropolitano.

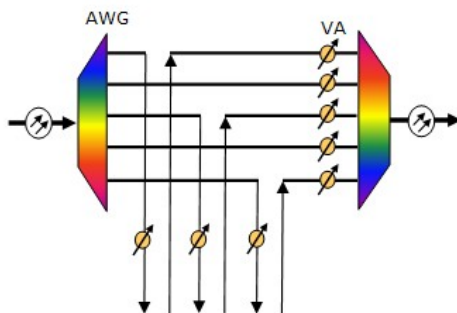


Fig. 2.33ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).



## Capítulo 3

### Redes de Transporte de Alta Velocidad, Norma g-709

#### 3.1 Evolución de SDH

En el desarrollo de SDH (Jerarquía Digital Sincrona) Legacy (se dará la explicación más adelante) se pensó en crear una tecnología que cubriera muchas de las deficiencias de sus antecesores y que a la vez utilizara y funcionara con muchas de las nuevas tecnologías (Fibra Óptica, ATM<sup>1</sup> etc).

SDH Principalmente se utiliza para el transporte eficiente de Tráfico TDM o con características similares, ya que este tipo de tráfico era el dominante en las redes de telecomunicaciones; sin embargo, los cambios fueron girando hacia la prestación de servicios de datos de naturaleza muy distinta al tráfico TDM.

Ante esta evolución, la tecnología SDH enfrenta el reto de permanecer como el transporte de este nuevo tráfico el cual guarda características muy distintas para lo que originalmente SDH fue diseñada, para poder permanecer muchas adaptaciones se incorporaron a la tecnología SDH naciendo una nueva generación de equipos llamados NG SDH (SDH de Nueva Generación) mejor preparada para el transporte de tráfico de datos (Fig. 3.1).

---

<sup>1</sup> **El Modo de Transferencia Asíncrono** es una tecnología de conmutación que usa pequeñas celdas de tamaño fijo. En 1988, la UIT-T designó a ATM como el mecanismo de transporte planeado para el uso de futuros servicios de banda ancha. ATM es asíncrono porque las celdas son transmitidas a través de una red sin tener que ocupar fragmentos específicos de tiempo en alineación de paquete, como las tramas T1. Estas celdas son pequeñas (53 bytes), comparadas con los paquetes LAN de longitud variable. Todos los tipos de información son segmentados en campos de pequeños bloques de 48 bytes, los cinco restantes corresponden a un header usado por la red para mover las celdas. ATM es una tecnología orientada a conexión, en contraste con los protocolos de base LAN, que son sin conexión. Orientado a conexión significa que una conexión necesita ser establecida entre dos puntos con un protocolo de señalización antes de cualquier transferencia de datos. Una vez que la conexión está establecida, las celdas ATM se auto-rutean porque cada celda contiene campos que identifican la conexión de la celda a la cual pertenecen.

Asynchronous Transfer Mode (ATM) es una tecnología de switching basada en unidades de datos de un tamaño fijo de 53 bytes llamadas celdas. ATM opera en modo orientado a la conexión, esto significa que cuando dos nodos desean transferir deben primero establecer un canal o conexión por medio de un protocolo de llamada o señalización. Una vez establecida la conexión, las celdas de ATM incluyen información que permite identificar la conexión a la cual pertenecen.

En una red ATM las comunicaciones se establecen a través de un conjunto de dispositivos intermedios llamados switches. Transmisiones de diferentes tipos, incluyendo video, voz y datos pueden ser mezcladas en una transmisión ATM que puede tener rangos de 155 Mbps a 2.5Gbps. Esta velocidad puede ser dirigida a un usuario, grupo de trabajo o una red entera, porque ATM no reserva posiciones específicas en una celda para tipos específicos de información. Su ancho de banda puede ser optimizado identificando el ancho de banda bajo demanda. Conmutar las celdas de tamaño fijo significa incorporar algoritmos en chips de silicón eliminando retrasos causados por software. Una ventaja de ATM es que es escalable. Varios switches pueden ser conectados en cascada para formar redes más grandes.

<http://www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html>

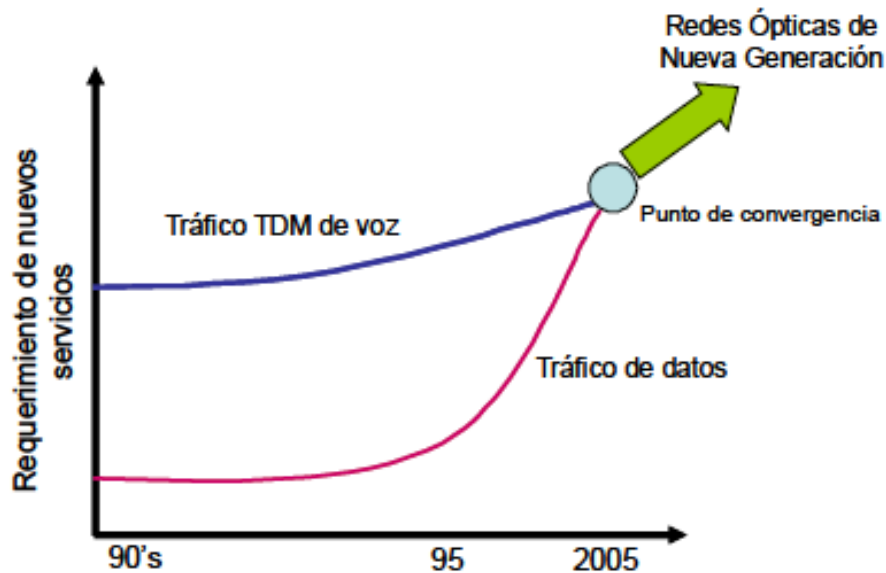


Fig. 3.1 Evolución del tráfico en las redes de telecomunicaciones

### 3.1.1 Convergencia

Anteriormente los servicios de datos y el tráfico de voz fueron tratados por diferentes redes en las empresas de telecomunicaciones, pero nuevas aplicaciones han llevado a la convergencia de estos servicios en una única red.

La tecnología IP<sup>2</sup> parece ser la opción tecnológica para la transferencia de cualquier tipo de información, y un gran número de protocolos y tecnologías

<sup>2</sup> Es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos.

La Telefonía IP es una aplicación inmediata de esta tecnología, de forma que permita la realización de llamadas telefónicas ordinarias sobre redes IP u otras redes de paquetes utilizando un PC, gateways y teléfonos estándares. En general, servicios de comunicación - voz, fax, aplicaciones de mensajes de voz - que es transportada vía redes IP, Internet normalmente, en lugar de ser transportados vía la red telefónica convencional.

Diferencia la Telefonía IP de la telefonía normal.

En una llamada telefónica normal, la central telefónica establece una conexión permanente entre ambos interlocutores, conexión que se utiliza para llevar las señales de voz. En una llamada telefónica por IP, los paquetes de datos, que contienen la señal de voz digitalizada y comprimida, se envían a través de Internet a la dirección IP del destinatario. Cada paquete puede utilizar un camino para llegar, están compartiendo un medio, una red de datos. Cuando llegan a su destino son ordenados y convertidos de nuevo en señal de voz.

El uso de Telefonía IP nos da la enorme ventaja de poder usar un medio de costo controlado, tal como un enlace ADSL o dedicado para cursar la voz. De esa forma podemos eliminar por completo el costo del servicio medido + la larga distancia nacional o internacional.

[http://www.compasstech.com.mx/ct-html/telefonía\\_ip.html](http://www.compasstech.com.mx/ct-html/telefonía_ip.html)

compiten por ser el transporte de los inmensos volúmenes de tráfico IP (paquetes) que dominaran las redes del mañana.

Cualquiera que sea la opción, todo parece indicar que el medio de transporte indudablemente será fibra óptica como se muestra en la Fig. 3.2 donde las tecnologías buscan su convergencia hacia este punto.

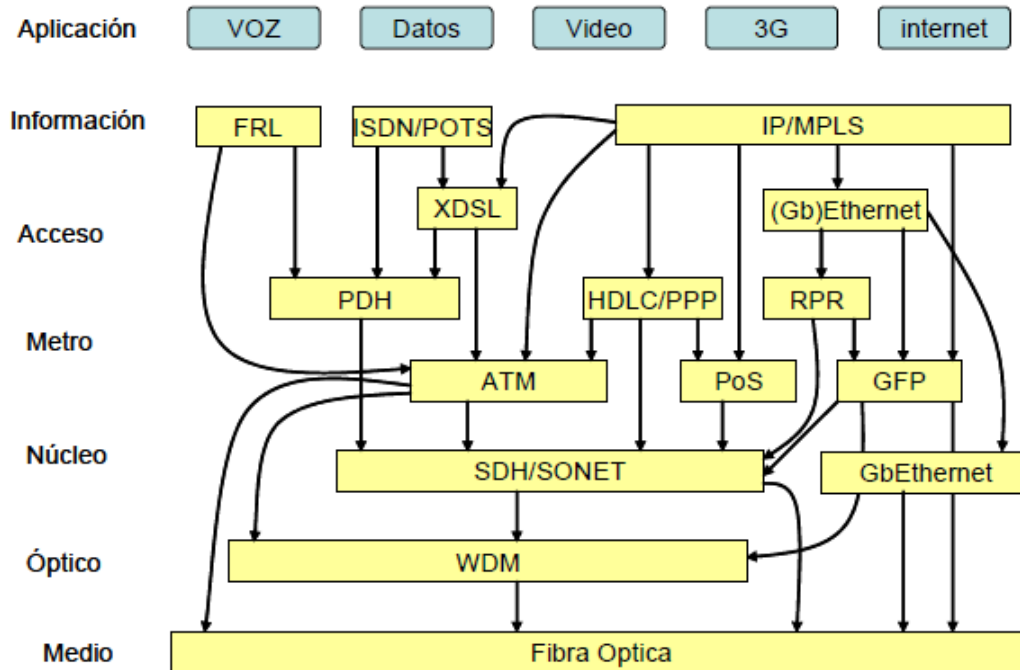


Fig. 3.2 Diagrama de convergencias tecnológicas para el transporte de información.

### 3.1.2 SDH a futuro

Indudablemente que los cambios tecnológicos han ampliado las opciones de transporte de tráfico, algunas de estas plantean implementaciones directas hacia WDM<sup>3</sup> sin pasar por SDH como IPoWDM (IP sobre WDM) o Ethernet sobre WDM,

3 En telecomunicación, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, del inglés Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED. Este término se refiere a una portadora óptica (descrita típicamente por su longitud de onda) mientras que la multiplexación por división de frecuencia generalmente se emplea para referirse a una portadora de radiofrecuencia (descrita habitualmente por su frecuencia). Sin embargo, puesto que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, y la radiofrecuencia y la luz son ambas formas de radiación electromagnética, la distinción resulta un tanto arbitraria.

desde esta perspectiva en unos cuantos años SDH estaría a punto de salir de las redes , sin embargo las nuevas ventajas implementadas en NG SDH y la gran cantidad de inversión existente en infraestructura SDH aunada a su grandes facilidades de gestión y administración de red (entre otras), asegura una larga vida a esta tecnología dentro de las redes de telecomunicaciones

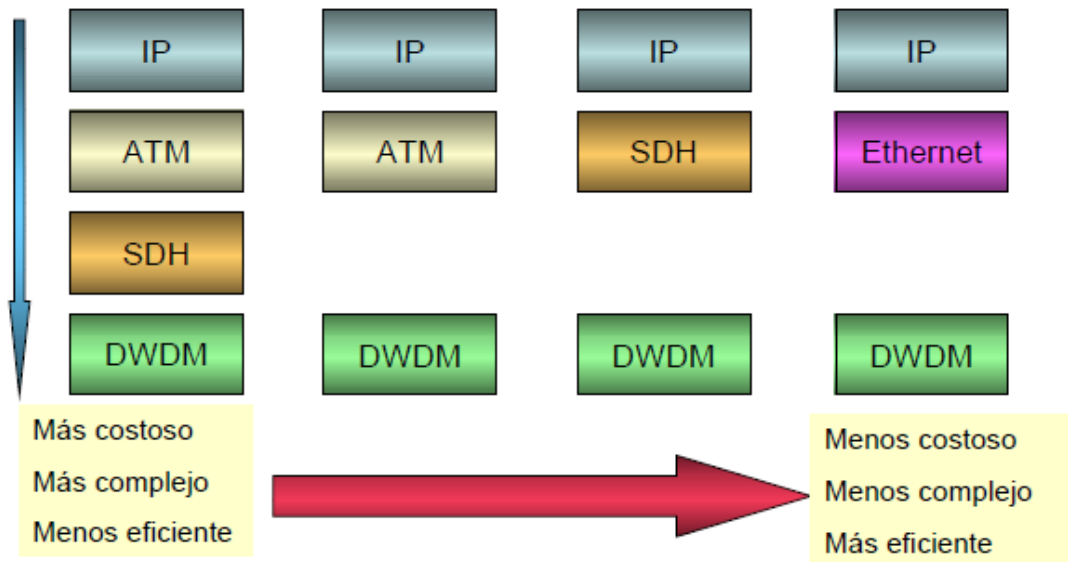


Fig. 3.3 SDH a futuro

### 3.2 SDH de nueva generación

Los clientes han encontrado en las redes de datos una rápida y económica implementación de sus servicios provocando que el tráfico de datos tenga un crecimiento acelerado en los últimos años comenzando a superar al tráfico de voz e inclusive absorbiéndolo (VoIP).

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

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

[http://es.wikipedia.org/wiki/Multiplexaci%C3%B3n\\_por\\_divisi%C3%B3n\\_de\\_longitud\\_de\\_onda](http://es.wikipedia.org/wiki/Multiplexaci%C3%B3n_por_divisi%C3%B3n_de_longitud_de_onda)

Ante este nuevo entorno, las redes SDH enfrentan el reto de adaptarse a estos cambios y NG SDH (SDH de Nueva Generación) es la respuesta a los mismos.

SDH de Nueva Generación (NG SDH) es el nombre dado a una plataforma que incluye una serie de procedimientos, estándares y protocolos nuevos incorporados a los equipos SDH de reciente diseño, mientras que los equipos previamente instalados en la red e incapaces de implementar estas nuevas funciones es llamado SDH Legacy (SDH Legado).

La diferencia entre **SDH Legacy** y **NG SDH** (Tabla 3.1), radica en que, mientras **SDH Legacy** fue pensado para transportar en forma eficiente el tráfico mayoritariamente de voz que cursaba las redes de telecomunicaciones, **NG SDH** está pensado para adaptar **SDH** a la costeabilidad, eficiencia y calidad de servicio que demanda el tráfico de datos pero a la vez aprovechando la confiabilidad y ancho de banda que ofrecen las redes de Fibra óptica y la tecnología **WDM** (Multiplexación por Longitud de Onda), a continuación se muestra una tabla con las principales diferencias:

	SDH Legacy	NG SDH
Interfaces	STM-0 a STM-64 sin colorear, E1,E3 y E4	STM-0 a STM-64 coloreadas, E1,E3 y E4, Ethernet, Fast Eth. y GbE
Topologías	Bus, Anillo y Hub	Bus, Anillo, Hub, Malla y mixta
Servicios	Transporte para TDM, ATM y HDLC	Transporte para TDM y Cualquier protocolo de datos, Multiservicios
Aprovisionamiento	Manual	Manual y Automático
Eficiencia	Alta para TDM, Baja Para datos	Alta para TDM y Datos
Concatenación	Contigua	Contigua y Virtual
Granularidad	Limitada	Amplia
Costo por servicio	Alto	Bajo
Conmutación	De Circuitos	De Circuitos y Paquetes
Implementación	Unica solo SDH	Alta, Multiplataforma (SDH,Eth,DWDM)

Tabla 3.1 Diferencias de SDH Legacy NG SDH.

Son varias las funcionalidades incorporadas a **NG SDH** pero son de destacar seis de ellas muy importantes:

- Arquitectura Modular Multifuncional (MSPP)

- Versatilidad de transporte (proporcionada por GFP)
- Granularidad (Proporcionada por Concatenación virtual)
- Ajuste de ancho de banda sobre demanda (proporcionada por LCAS)
- Diversidad de Arquitecturas de Red
- Conmutación de capa 1 y 2

### 3.2.1 Arquitectura Modular Multifuncional

Aunque no es propiamente una característica de NG SDH es importante señalar que los fabricantes están implementando los equipos en forma modular, permitiendo el equipamiento de tarjetas con funcionalidades que además de realizar una convergencia tecnológica se adaptan fácilmente a los requerimientos de los diferentes nodos, minimizando costos y facilitando el crecimiento gradual de la red.

Un ejemplo interesante es la facilidad de incluir en la misma repisa un ADM<sup>4</sup> y un WDM juntos (antes en diferentes repisas) Fig. 3.4

Una de las ventajas de la modularidad multifuncional es que permite la convivencia de varias tecnologías en la misma repisa, logrando así nodos

---

<sup>4</sup> Multiplexores Add-Drop (ADM): Estos equipos ofrecen la función de cross-conexiones junto con la de terminal de línea y multiplexión. En SDH es posible extraer (Drop) un contenedor virtual e insertar en sentido contrario (Add) otro contenedor virtual a la señal STM directamente sin necesidad de despeinarla según vimos anteriormente. Esta ventaja fundamental de los sistemas síncronos significa que es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios). Esta capacidad de enrutamiento permite que la función de cross-conexión sea distribuida por la red, resultando mejor que concentrarla en un enorme cross-conector dedicado.

En el caso del terminal de línea, los enlaces establecidos eran circuitos fijos punto a punto. La funcionalidad añadida a un ADM permite que sea establecida una red más flexible en la cual los circuitos de cliente que transiten la red puedan ser más fácilmente variados. Esta flexibilidad puede ser demostrada por una red de ADMs encadenados. Considerando el enlace de transporte como una línea de bus, en cada parada (ADM) el pasaje (circuitos de tráfico) podrá elegir entre descender o mantenerse en el transporte.

En un ADM circuitos de tráfico individuales pueden ser llevados fuera del flujo agregado mientras que el resto del tráfico continúa pasando a lo largo de la cadena de elementos. Esto crea una estructura en bus, en la cual una señal puede bajar o mantenerse en el bus en cada punto ADM.

Varios ADMs pueden ser conectados por el bus y la conectividad de cada ADM será donde los circuitos de tráfico son bajados o pasarán, propiedad que puede ser cambiada por el operador en función de las necesidades de tráfico. Así, una conexión flexible entre algunos puntos es creada, como si fuera una línea fija entre cada uno de esos puntos. Si un cliente quiere portar su circuito de tráfico hacia un nodo diferente, esta petición puede ser enviada remotamente al equipo, reconfigurando a distancia las conexiones en el ADM. <http://www.mailxmail.com/curso-jerarquia-digital-sincrona-sdh/elementos-sistema-transmision-sincrona>

multiservicios escalables. Esta nueva generación de equipos es llamada Plataforma de Aprovisionamiento Multi Servicios (Multi Service Provisioning Platform) y conocida por la abreviación MSPP.

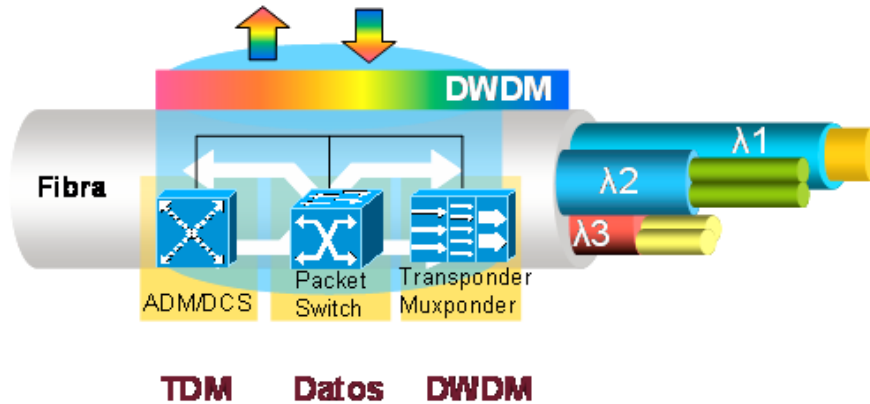


Fig. 3.4 ADM y un WDM juntos

Tradicionalmente SDH fue considerada una tecnología de capa 1 (capa física del modelo OSI) carente de inteligencia, sin embargo la evolución hacia NG SDH para el manejo eficiente de datos ha llevado a incorporar en SDH funciones de conmutación de capa 2 e inclusive de capa 3. Los fabricantes incorporan inteligencia de conmutación para aumentar la versatilidad multifuncional de los nodos implementando protocolos como OSPF<sup>5</sup> para el enrutamiento e implementación automática de los servicios de datos dentro de las redes SDH de Nueva Generación.

<sup>5</sup> El protocolo **OSPF** (Open Shortest Path First) es quizás el protocolo más implementado hoy como protocolo de enrutamiento interior para reder corporativas medianas y grandes. Es un protocolo muy interesante si se consideran las opciones y posibilidades de configuración que ofrece y que le permite dar respuesta a los escenarios o requerimientos más diversos. Sin embargo, esa misma potencialidad requiere del Administrador de la red un conocimiento y destreza superiores a los que requiere la implementación de protocolos más simples como por ejemplo RIP versión 2.

OSPF es un protocolo estándar de enrutamiento interior basado en el RFC 2328. Es un estándar abierto, lo que hace que esté disponible en múltiples sistemas operativos: Windows 2003 Server, Linux, Cisco IOS, etc.

Como protocolo de enrutamiento opera como protocolo de estado de enlace, e implementa el algoritmo de Dijkstra para calcular la ruta más corta a cada red de destino. Su métrica de enrutamiento es el costo de los enlaces, parámetro que se calcula en función del ancho de banda; por este motivo es de gran importancia la configuración del parámetro bandwidth en las interfaces que participan de este proceso de enrutamiento.

Opera estableciendo relaciones de adyacencia con los dispositivos vecinos, a los que envía periódicamente paquetes hello. Adicionalmente, cada vez que un enlace cambia de estado inunda la red con la notificación de este cambio. Adicionalmente, cada 30 minutos envía a los dispositivos vecinos (o adyacentes) una actualización conteniendo todos los cambios de estado de enlaces de ese período. <http://librosnetworking.blogspot.com/2006/11/introduccion-ospf.html>

En la Fig. 3.5 se muestra un diagrama a bloques de las funcionalidades de un nodo multiservicio de NG SDH donde se incluye inteligencia para conmutación de paquetes:

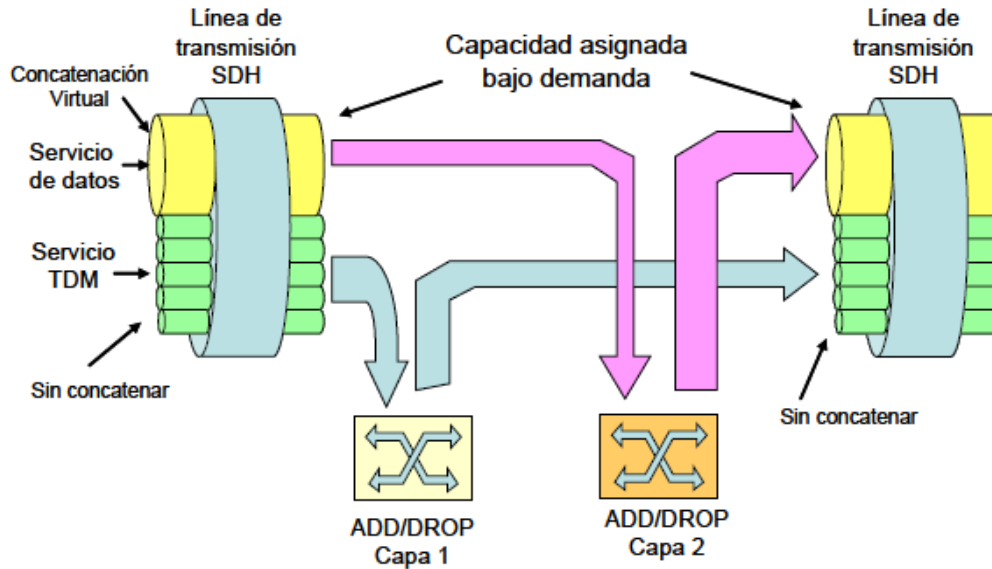


Fig. 3.5 Nodo multiservicio de NG SDH

### 3.2.2 Transporte en NG SDH

Uno de los motivos del desarrollo de **NG SDH** fue el de proveer un método estandarizado, robusto y eficiente para el transporte de todo tipo de datos, actualmente conocido como **DoS** (Datos sobre SDH) en adición al transporte de tráfico **TDM**. Mientras que **SDH Legacy** es para transportar en forma eficiente señales de **PDH** y **ATM**, **NG SDH** incorpora **GFP** (Generic Framing Procedure, Procedimiento Genérico de Entramado) el cual permite acomodar dentro de **SDH** en forma eficiente los protocolos de datos actuales más comunes como:

- o **Ethernet**. es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CDes ("Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones"), es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones. El nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado



y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

La Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos. Ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

- **IP.** Una dirección IP es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz (elemento de comunicación/conexión) de un dispositivo (habitualmente una computadora) dentro de una red que utilice el protocolo IP (*Internet Protocol*), que corresponde al nivel de red del protocolo TCP/IP.
- **Fibre Channel.** El Canal de fibra, del inglés *Fibre Channel*, es una tecnología de red utilizada principalmente para redes de almacenamiento, disponible primero a la velocidad de 1 Gbps y posteriormente a 2, 4 y 8 Gb/s. El Canal de fibra está estandarizado por el Comité Técnico T11 del Comité Internacional para Estándares de Tecnologías de la Información, comité acreditado por el Instituto de Estándares Nacional Americano (*ANSI*)
- **FICON.** es una interfaz desarrollada por IBM siendo la evolución de la interfaz ESCON, esto se produce debido a las limitantes en cuanto a la cantidad de canales que se podían establecer. Actualmente existe una nueva generación llamada FICON Express4 la cual puede lograr velocidades de 4 Gbps con auto negociación y 1 a 2 Gbps naturalmente con switches, directores y dispositivos de almacenamiento; con conexiones de 4 a 10 Km usando Fibra óptica en monomodo
- **ESCON.** (Enterprise Systems Connection en inglés), es la marca comercial de IBM para una interfaz óptica serial entre los mainframe de IBM y los dispositivos periféricos tales como unidades de almacenamiento y de respaldo. Utiliza tecnología Fibre Channel y swiches modificables dinámicamente llamados "ESCON Directors". Es capaz de lograr comunicaciones half-duplex a una velocidad de 200 Mbps (Millones de

bits/segundo) en distancias mayores a los 60 kilómetros. ESCON fue introducido por IBM en 1990 para substituir la vieja y lenta tecnología, basada en Bus de canales de cobre utilizados por los mainframe entre 1960-1990. Actualmente está siendo sustituido por el más rápido FICON, que funciona sobre Fibre Channel y que está suplantando al ESCON

- **ATM**<sup>6</sup>. Modo de Transferencia Síncrona

### 3.2.3 Procedimiento Genérico de Entramado

El Procedimiento Genérico de Entramado (GFP) es un estándar relativamente nuevo en la UIT (G.7041/Y.1303) que define un mecanismo de encapsulamiento flexible y entramado para la adaptación de tráfico de banda ancha y transporte de aplicaciones.

GFP provee un mecanismo eficiente para mapear protocolos de datos dentro de múltiples VC-n's concatenados permitiendo en NG SDH la convivencia de tráfico TDM, GbE, IP y otros protocolos de datos operando como una integrada e interoperable plataforma de transporte que ofrece costeabilidad , QoS(Calidad del servicio) y confiabilidad

Las características de **GFP** son las siguientes

- Soporta mapeo de señales físicas (IEEE 803) y lógicas (IP)
- Soporta diferentes topología de red
- Bajo retardo de encapsulamiento
- Diferenciación de QoS
- Creación de tramas generalizadas
- Supone el uso de DWDM o CWDM por NG SDH
- Permite la Multiplexación por tramas síncronas o asíncronas

**GFP** especifica dos tipos de datos del cliente o modo de transporte sobre un mismo canal, estos modos de transporte definen la forma de adaptación y mapeo de los datos.

---

<sup>6</sup> Op. Cit. <http://www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html>

Los modos especificados en **GFP** son los siguientes:

- El mapeo por trama GFP (**GFP-F**)
- El mapeo transparente GFP (**GFP-T**)

El tipo de mapeo **GFP** a utilizar dependerá de las características del tipo de datos a transportar.

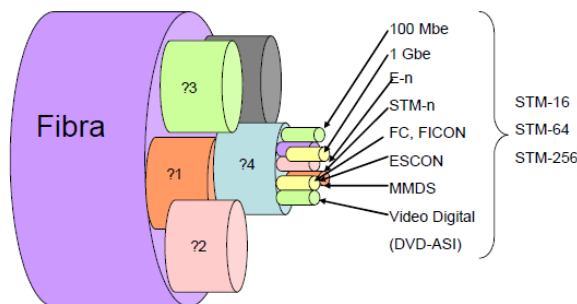
El modo **GFP-F** es utilizado para el mapeo de aplicaciones que utilizan conmutación de paquetes:

- IP
- PPP nativo
- Ethernet (incluyendo GbE y 10GbE)
- Tráfico MPLS

El modo **GFP-T** es utilizado para el transporte de aplicaciones que requieren eficiencia de ancho de banda y sensibles al retardo, aplicaciones como:

- Fibre Channel (canal de fibra)
- FICON
- ESCON
- Redes de área de almacenamiento (SAN's)

La utilización de GFP, Fig. 3.6 permite el mapeo sobre una trama única para el transporte eficiente de cualquier protocolo de datos sobre SDH.



**Fig. 3.6 Procedimiento genérico de entramado**

### 3.3 Concatenación Virtual

Granularidad en SDH es un término utilizado para describir la característica que guarda el sistema para crear entidades de diversas capacidades que puedan ajustarse a cualquier tamaño de carga.

En SDH Legacy su granularidad está dada por la capacidad de sus contenedores y la agrupación que se logra con la concatenación contigua la cual permite agrupar la capacidad de 4 VC-4 (VC-4-4c) ó 16 VC-4 (VC-4-16c) los cuales podrían ser muy ineficientes para transportar cargas como 1GbE.

La respuesta a la baja granularidad de SDH Legacy es la Concatenación Virtual, un nuevo tipo de concatenación incorporada en NG SDH la cual permite agrupar cualquier nivel de VC-n's así como cualquier número de ellos, brindando a NG SDH una mayor granularidad.

La Concatenación Virtual es un nuevo mecanismo de concatenación incorporado a **NG SDH** expresada como **VC-n-Xv** donde “n” representa el nivel de contenedor virtual a concatenar, “X” numero de contenedores concatenados y “v” de virtual.

Esta nueva concatenación brinda mayor granularidad a **NG SDH** al permitir la agrupación de cualquier número de contenedores para acomodar los diferentes tamaños de carga en forma más eficiente.

A continuación se ilustra en la tabla 3.2 con las capacidades logradas con la Concatenación Virtual.

VC-n	Capacidad individual	Numero (X)	Capacidad Virtual
VC-11	1,600 Kbps	1-64	1600-102,400 Kbps
VC-12	2,176 Kbps	1-64	2,176-139,264 Kbps
VC-2	6,784 Kbps	1-64	6,784-434,176 Kbps
VC-3	48,384 Kbps	1-256	48,384-12,386 Kbps
VC-4	149,760 Kbps	1-256	149,760-38,338,560 Kbps

Tabla 3.2 Concatenación virtual.

### 3.3.1 Comparación entre concatenación contigua y virtual

Una de las ventajas de la Concatenación Virtual es brindar una mayor eficiencia en el aprovechamiento del consumo de ancho de banda. El siguiente, es un ejemplo que ilustra en la Fig. 3.7 esta ventaja con respecto a la Concatenación Contigua al transportar una señal de **1 GbE**.

Para transportar sobre **SDH Legacy** una señal de **1GbE** se tiene que utilizar la concatenación **VC-4-16c**, utilizando **2.4 Gbps** para transportar solo **1Gbps** resultando en una eficiencia de aprovechamiento de tan solo el 40%. Ver la siguiente figura:

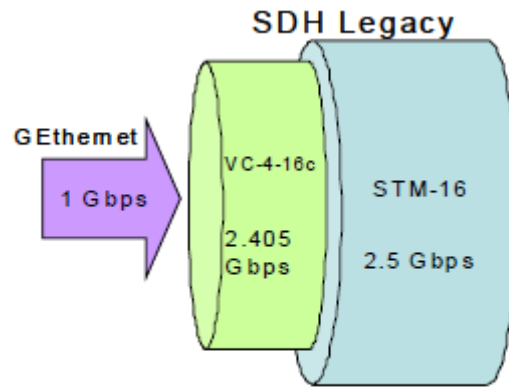


Fig. 3.7 Eficiencia del ancho de banda al 42%

Al utilizar la Concatenación Virtual **VC-4-7v** se dispone de **1.052 Gb/s** para transportar **1Gb/s** resultando en una eficiencia de aprovechamiento de ancho de banda del 95%, Fig. 3.8

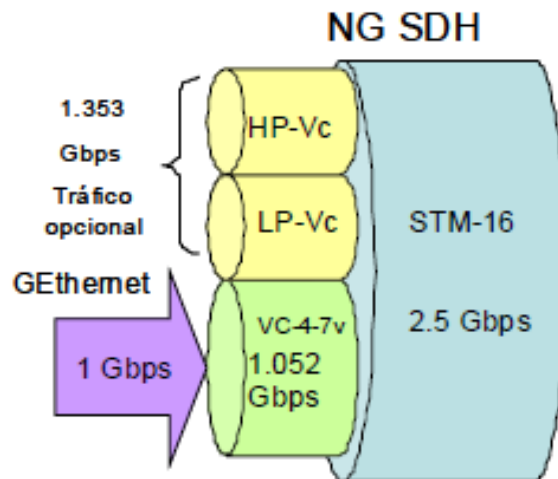


Fig. 3.8 Eficiencia del ancho de banda al 95%

La tabla 3.3 muestra una comparación de la eficiencia en el aprovechamiento de ancho de banda entre ambas concatenaciones:

Servicio	Tasa de datos	Concatenación Contigua		Concatenación Virtual	
		Concatenación	Eficiencia	Concatenación	Eficiencia
Ethernet	10 Mbit/s	VC-3	20%	VC-12-5v	90%
Fast Ethernet	100 Mbit/s	VC-4	67%	VC-3-2v	100%
Gbit-Ethernet	1000 Mbit/s	VC-4-16c	42%	VC-4-7v	95%
ESCON	200 Mbit/s	VC-4-4c	33%	VC-3-4v	100%
Fiber Channel	1000 Mbit/s	VC-4-16c	42%	VC-4-7v	95%
ATM	25 Mbit/s	VC-3	50%	VC-12-12v	98%

Tabla 3.3 Comparación de la eficiencia en el aprovechamiento de ancho de banda entre ambas concatenaciones

La Concatenación Virtual además de brindar mayor granularidad guarda algunas características importantes como las explicadas a continuación.

En la concatenación virtual solo los nodos origen y destino de la red se ven involucrados, Fig. 3.9, lo que hace que esta sea compatible también con SDH Legacy.

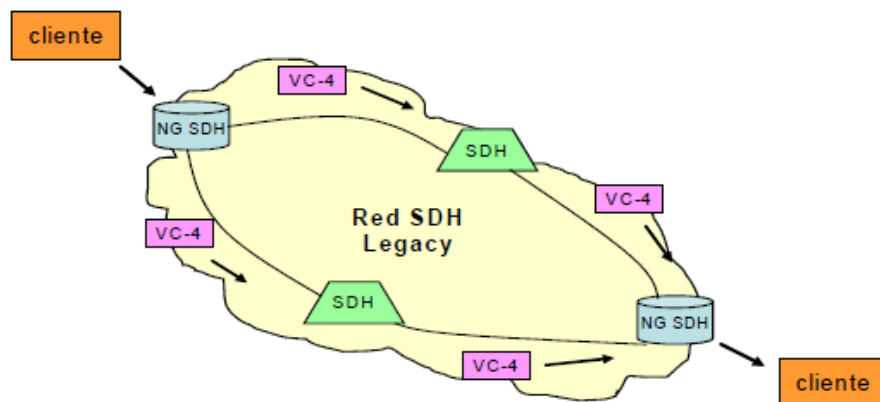


Fig. 3.9 La concatenación virtual solo los nodos origen y destino de la red se ven involucrados

En la Concatenación Virtual los **VC-n's** concatenados se comportan como trayectorias independientes en la Red **SDH** y pueden incluso viajar por diferentes rutas dentro de la misma para llegar al nodo destino dándole una capacidad de resiliencia<sup>7</sup> a la Red.

Esta característica de la Concatenación Virtual de asociar virtualmente (lógicamente) varios **VC-n's** que viajan en forma independiente por la Red hasta llegar a su destino, es lo que da origen a su nombre.

La Fig. 3.10 muestra un ejemplo:

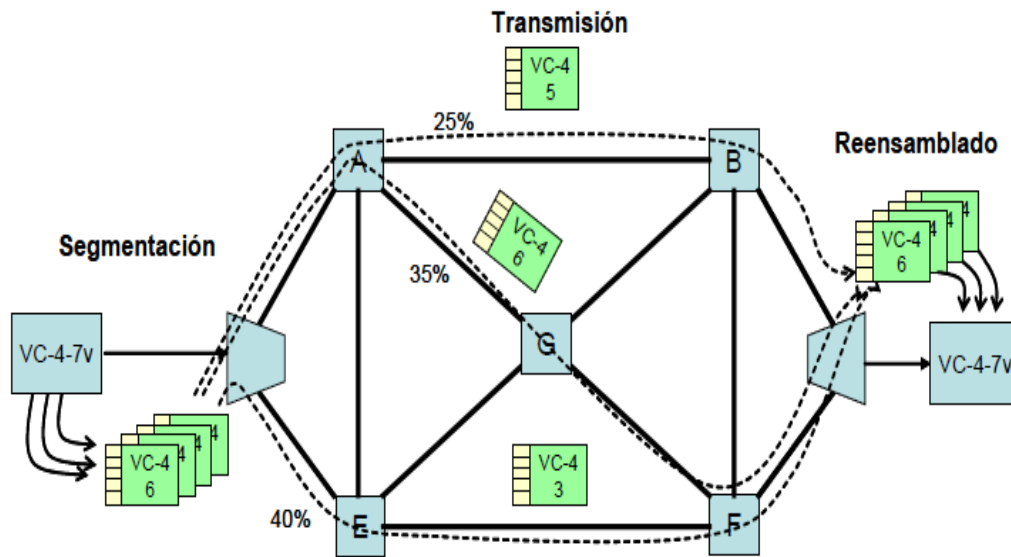


Fig. 3.10 Asociación de varios VC-n's

Además, esta característica le da robustez a la red ya que en caso de falla en una de las rutas solo se pierde una parte del tráfico del cliente y no toda la información.

A continuación se muestra en la tabla 3.4 un resumen de comparación entre la concatenación contigua y virtual<sup>8</sup>:

<sup>7</sup> En ingeniería, la resiliencia es una magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada. En términos simples es la capacidad de memoria de un material para recuperarse de una deformación, producto de una presión externa.

<sup>8</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Deformaci%C3%B3n>  
 Mayagoitia Chavira Rubén, SDH de Nueva Generación, pp. 26 – 39.

Concatenación Contigua	Concatenación Virtual
Limitada granularidad de tamaños de VC-n's	Mayor flexibilidad y granularidad para VC-n's de bajo y alto orden
Los VC-n's viajan todos por la misma ruta	VC-n's puede viajar sobre diferente ruta
Todos los elementos de la red en la ruta están involucrados en la concatenación	Solo los elementos origen y destino están involucrados en la concatenación
Es transparente a la Gestión de Red	Requiere de la Gestión de Red
Un único POH para todo el grupo concatenado	Un POH por cada VC-n concatenado
No tiene retardo diferencial	Puede presentar retardo diferencial
No requiere números de secuencia para reensamblado	Requiere secuenciamiento para el reensamblado

Tabla 3.4 Comparación entre la concatenación contigua y virtual

### 3.4 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<sup>9</sup> 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.

#### 3.4.1 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:

<sup>9</sup> 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



- 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 retiemprización) en cada extremo de la interfaz, a fin de soportar la clase de interfaz OTN IrDI.

### 3.4.2 Estructura de señal básica

La estructura básica se muestra en la figura 2.1

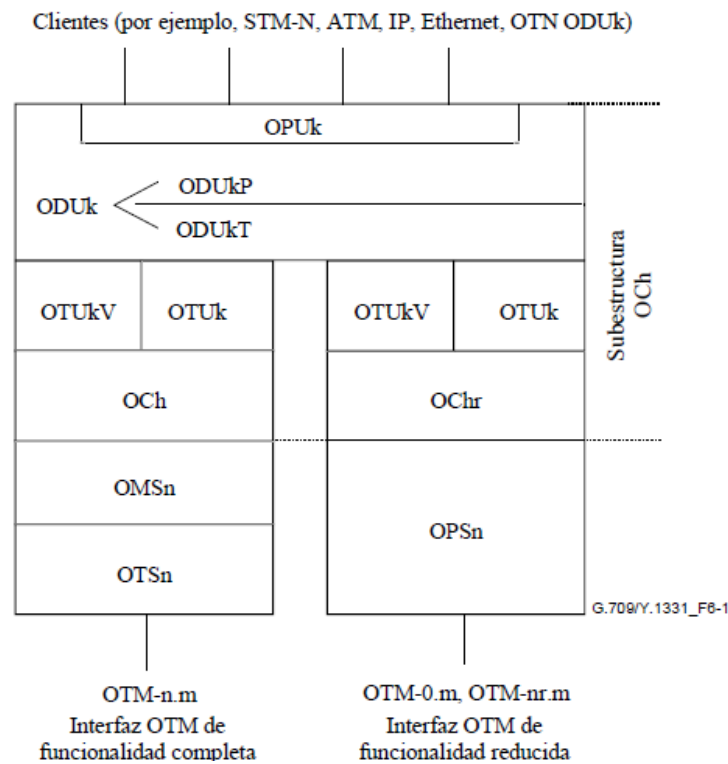


Fig. 3.11 G.709/Y.1331 – Estructura de las interfaces de OTN.

### 3.4.3 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).

### 3.4.4 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).

### 3.4.5 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 3.12, 3.13 y 3.44. Los flujos de información se muestran en la Fig. 3.12.

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

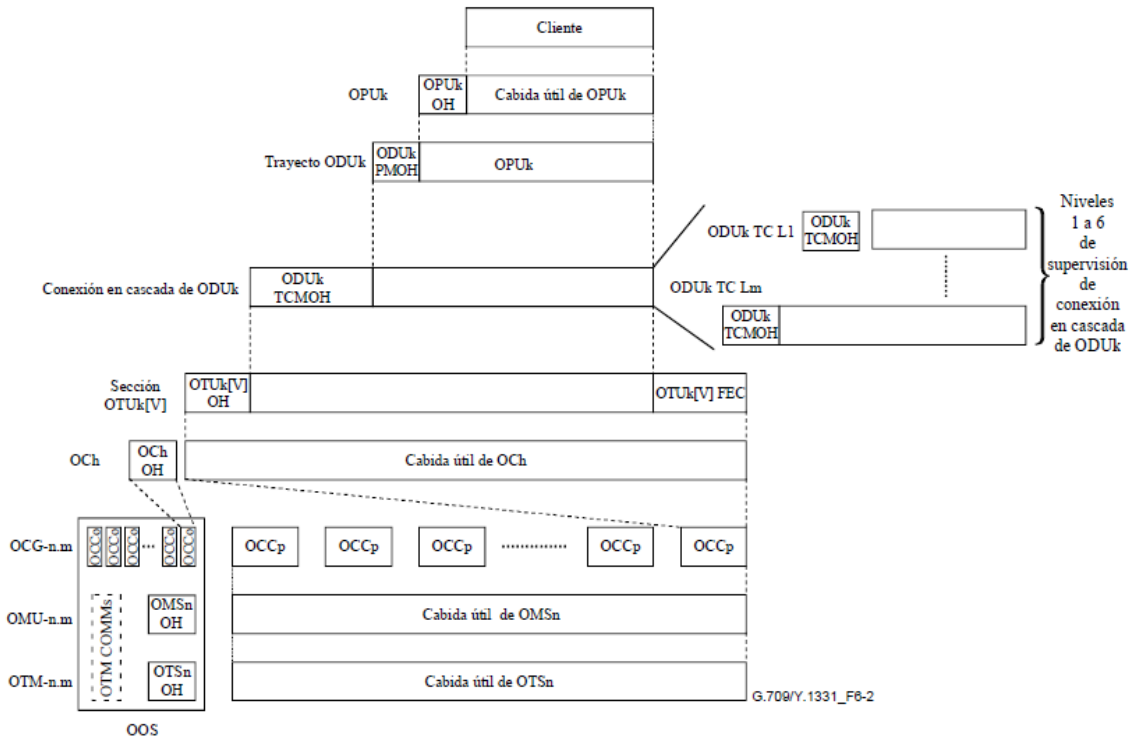


Fig. 3.12/G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-n.m

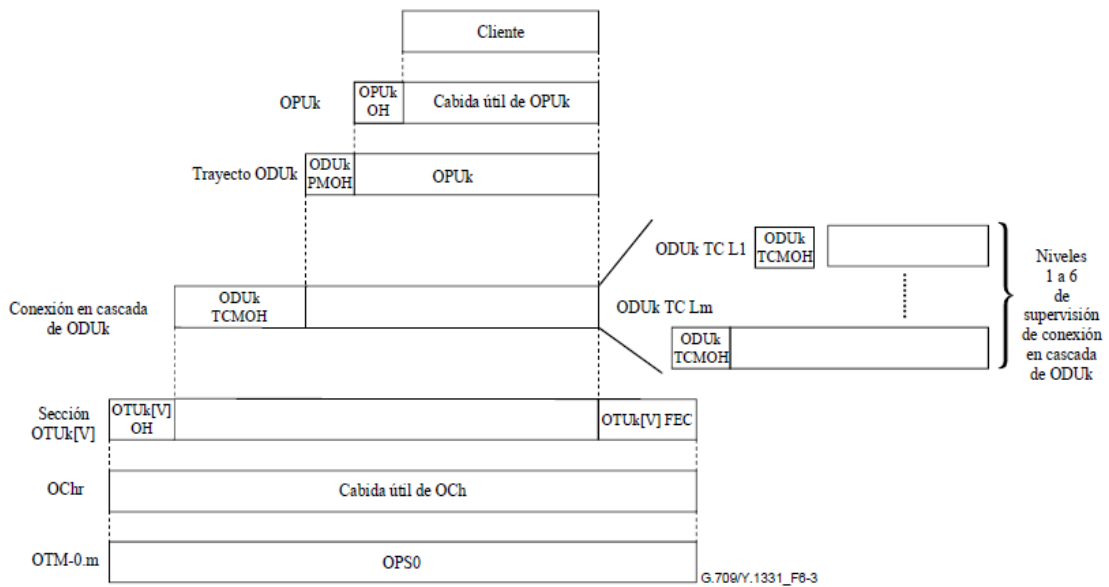


Fig. 3.13 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contenimiento de información de OTM-0.m

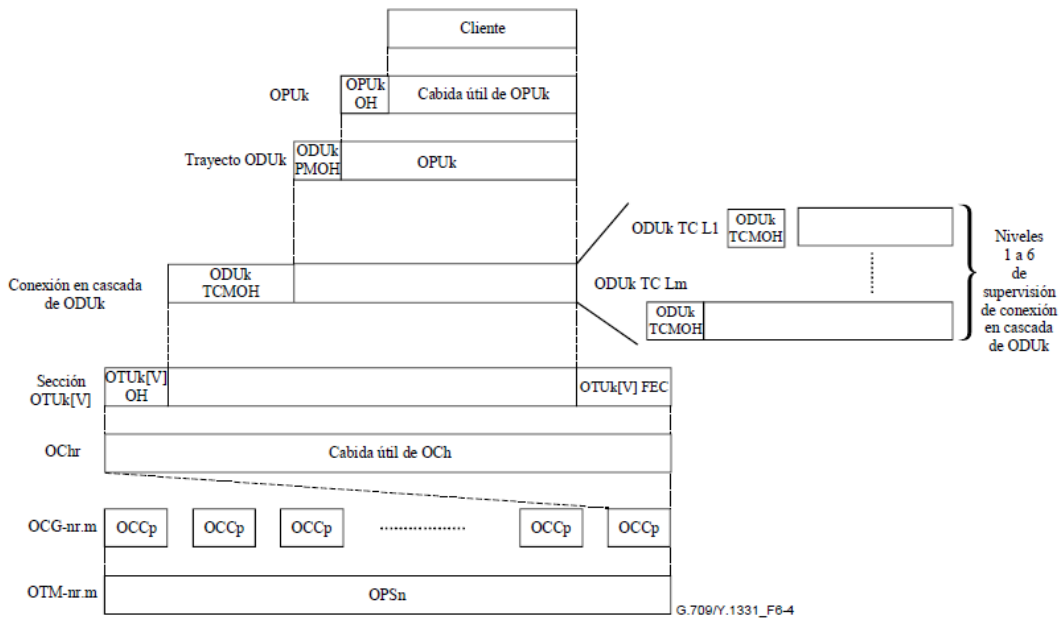


Fig. 3.14 G.709/Y.1331 – Principales relaciones de contención de información de OTM nr.m.

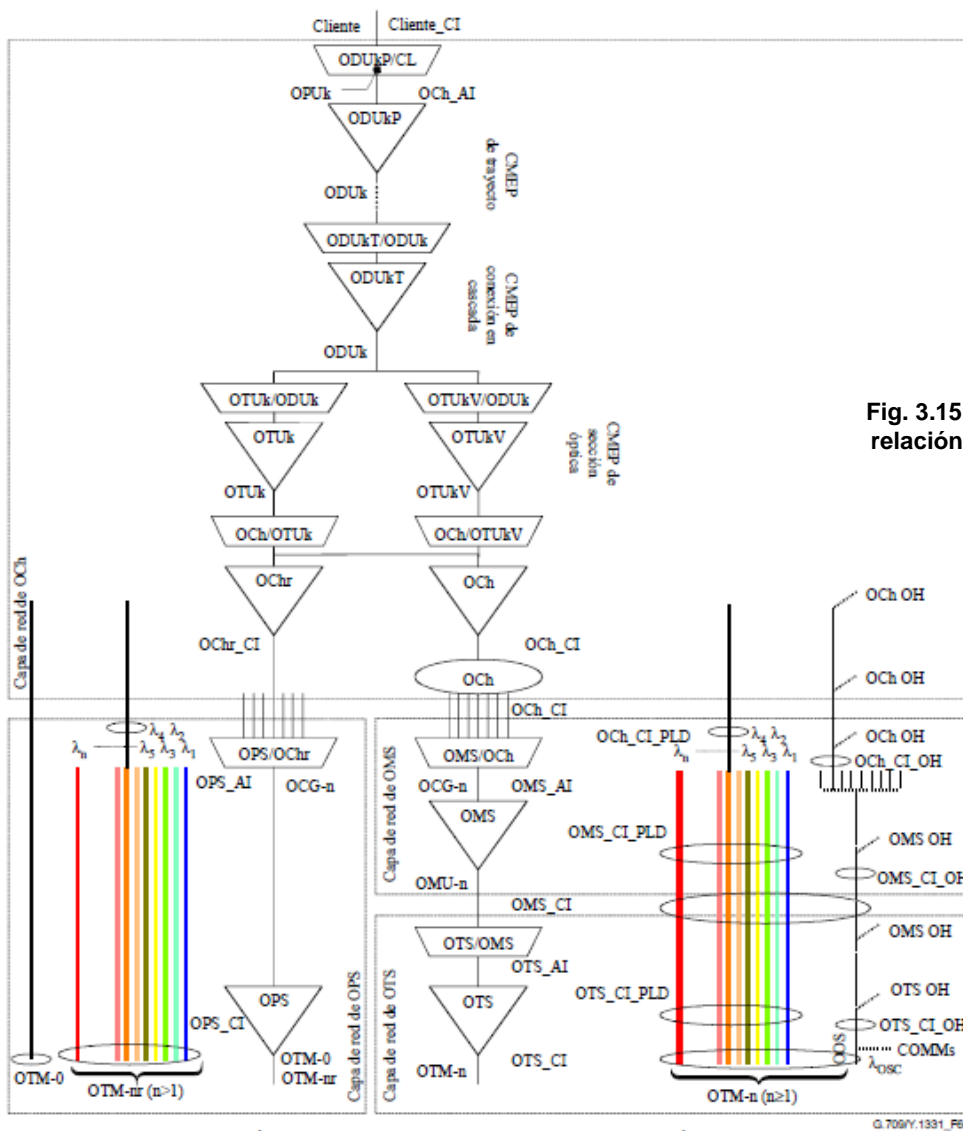


Fig. 3.15 G.709/Y.1331 Ejemplo de relación de flujos de información

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

### 3.5 Principios de multiplexación/correspondencia y velocidades binarias

La fig. 3.16 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.

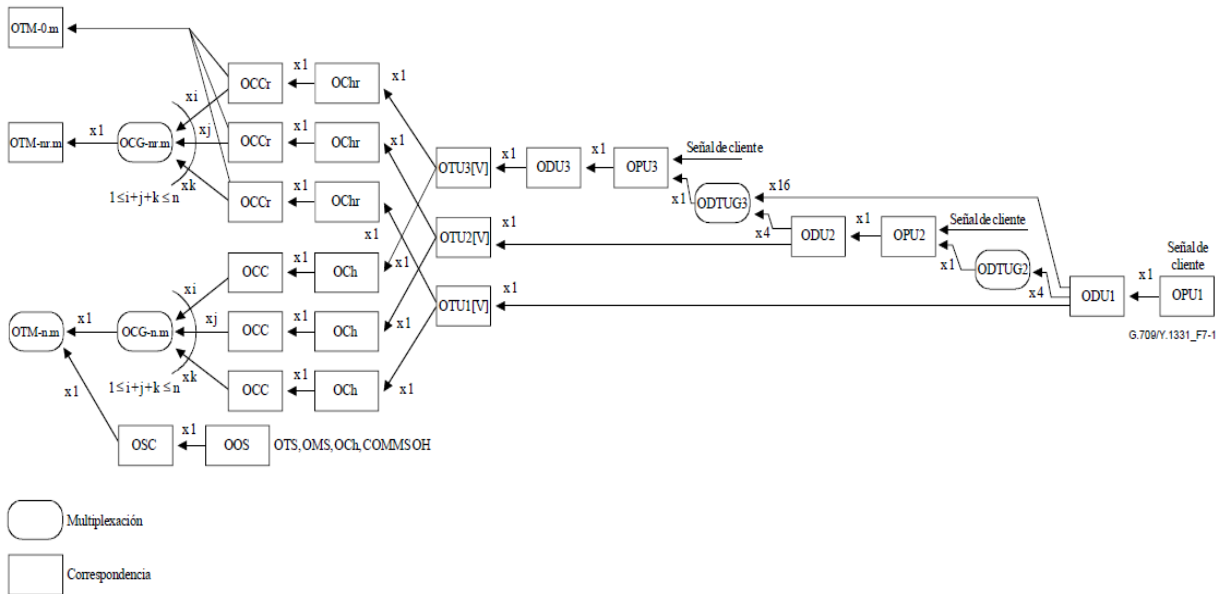


Fig. 3.16 G.709/Y.1331 – Multiplexación de OTM y estructuras de correspondencia

#### 3.5.1 Correspondencia

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

#### 3.5.2 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.

### 3.6 Velocidades binarias y capacidad

Las velocidades binarias y capacidad de las señales OTUk se definen en la tabla 3.9.

Las velocidades binarias y capacidad de las señales ODUk se definen en el cuadro 3.10.

Las velocidades binarias y capacidad de la cabida útil OPUk y OPUk-Xv se definen en el cuadro 3.11.

Los periodos de trama OTUk/ODUk/OPUk/OPUk-Xv se definen en el cuadro 3.8.

**Tabla 3.9 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 3.10 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 3.11 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 <sub>k</sub> 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 <sub>k</sub> -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 3.12 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.	

### 3.7 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.

#### 3.7.1 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<sub>k</sub> [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<sub>k</sub>[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.

### 3.7.2 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. 3.17), 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.

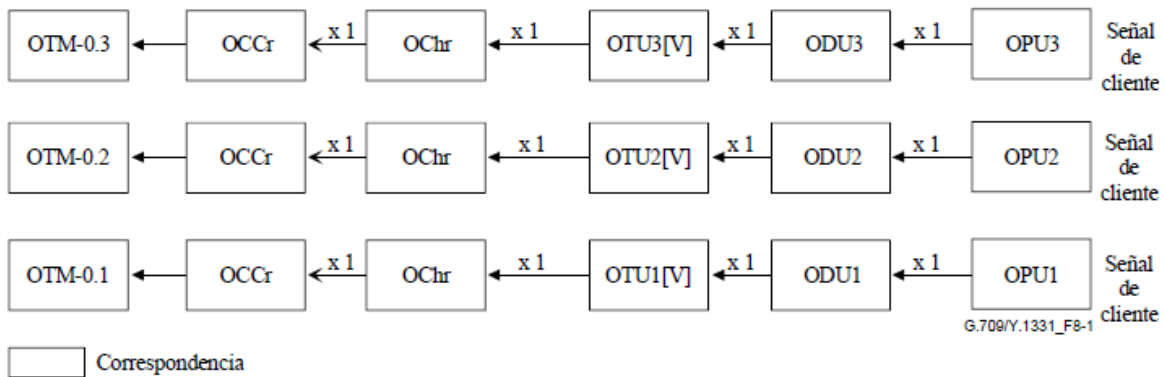


Fig. 3.17 G.709/Y.1331 – Estructura de OTM-0.m

La fig. 3.18 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*).



### 3.7.3 OTM-16r.m

Este OTM-16r.m<sup>10</sup> 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. 31.8

---

<sup>10</sup> 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.

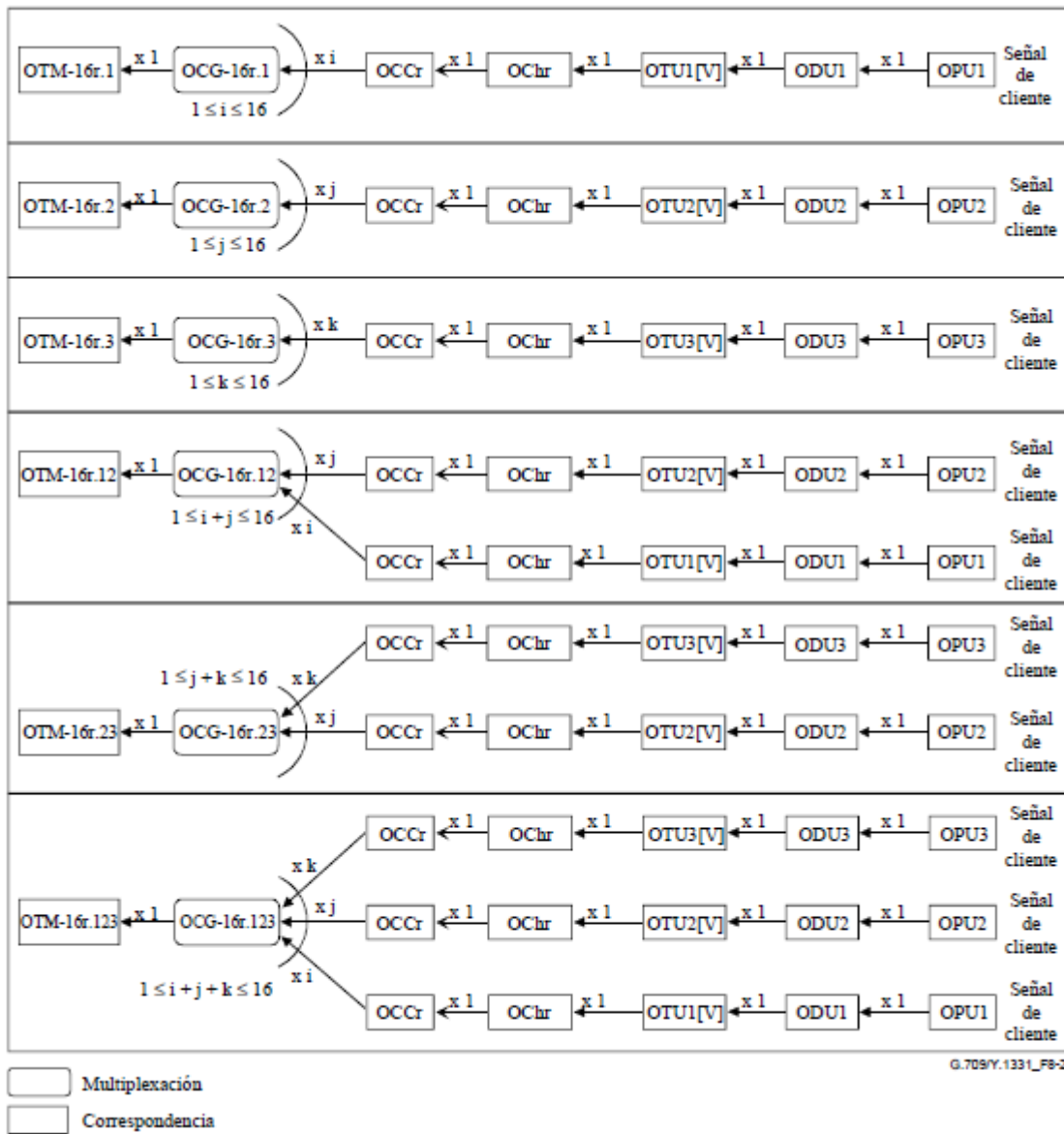


Fig. 3.18 G.709/Y.1331, Estructura de multiplexación OTM-16r.m

### 3.7.4 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  $i + j + k \leq n$ )

### 3.8 Unidad de transporte de canal óptico (OTU)

La OTU<sub>k</sub> [V] acondiciona la ODU<sub>k</sub> para el transporte por conexiones de red de canal óptico. La estructura de trama de OTU<sub>k</sub> está completamente normalizada. La OTU<sub>k</sub>V es una estructura de trama normalizada sólo en lo funcional (es decir, sólo se especifica la funcionalidad requerida).

#### 3.8.1 Estructura de trama de OTU<sub>k</sub>

La estructura de trama de OTU<sub>k</sub> ( $k = 1, 2, 3$ ) se basa en la estructura de trama de ODU<sub>k</sub> y la amplía con la corrección de errores en recepción (FEC), como se muestra en la fig. 3.19. Se añaden 256 columnas a la trama ODU<sub>k</sub> para la FEC, y los octetos de trama reservados en la fila 1, columnas 8 a 14 de la trama de ODU<sub>k</sub> se utilizan para trama específica de OTU<sub>k</sub>, 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.

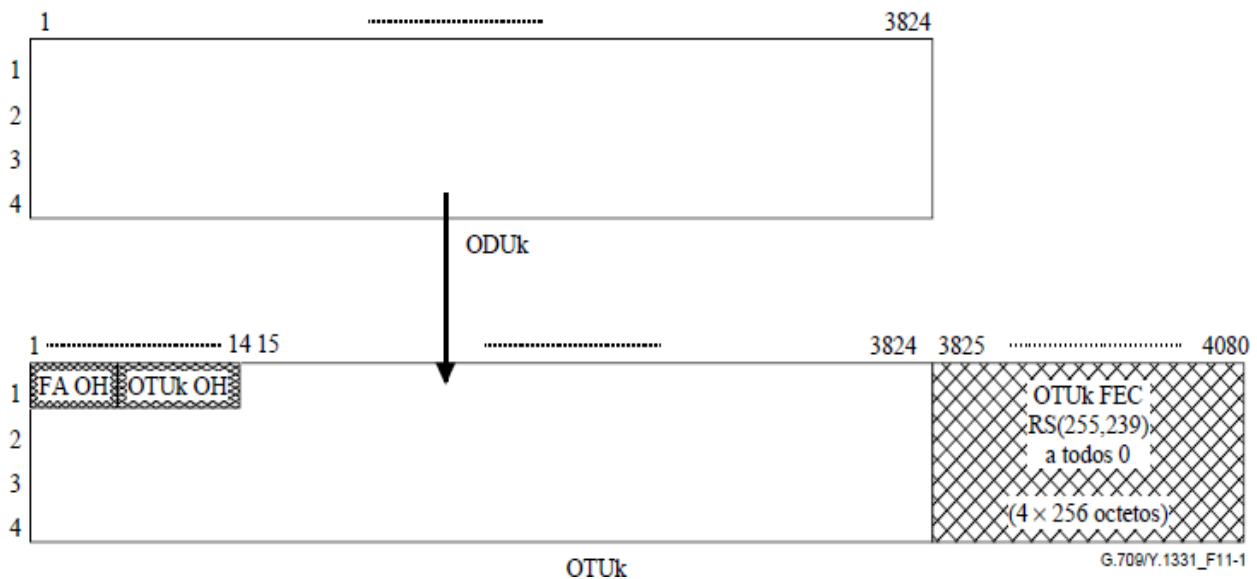


Fig. 3.19 G.709/Y.1331, Estructura de trama de OTU<sub>k</sub>.

Las velocidades binarias de las señales OTUk se definen en la tabla 3.12.

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. 3.20).

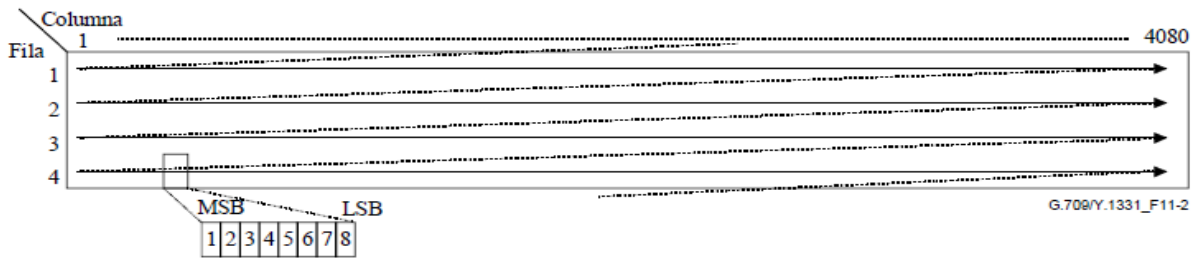


Fig. 3.20 G.709/Y.1331, Orden de transmisión de bits de la trama OTUk

### 3.8.2 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. 3.21 muestra un diagrama funcional de aleatorizador síncrono de trama.

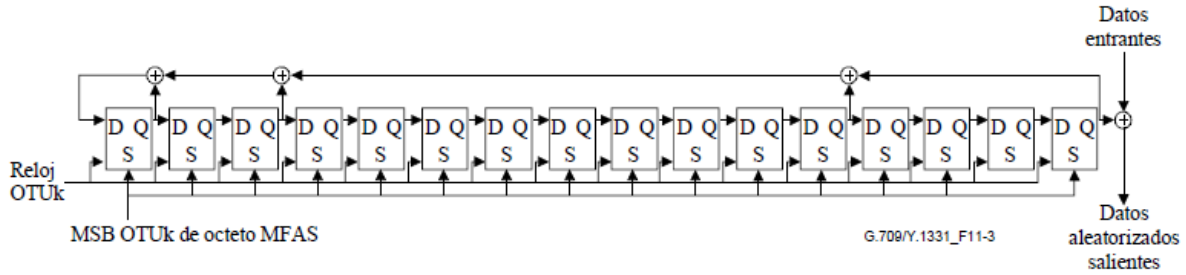


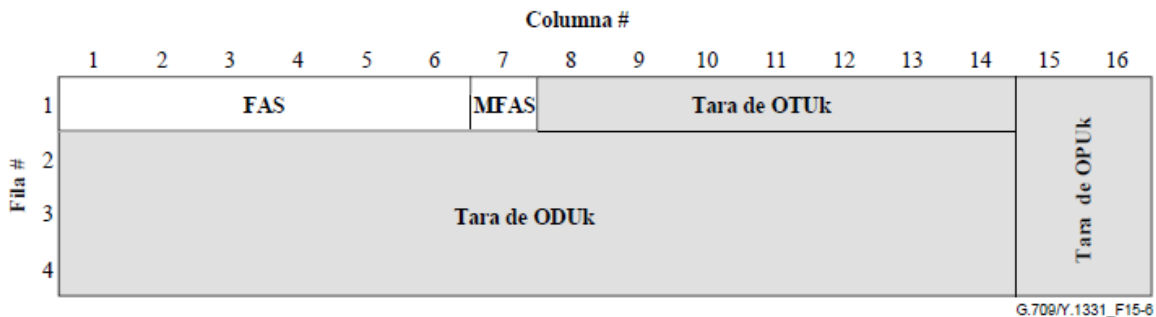
Fig. 3.21 G.709/Y.1331 – Aleatorizador síncrono de trama.

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.

### 3.9 Descripción de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk

En la fig. 3.22 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.



G.709/Y.1331\_F15-6

Fig. 3.22 G.709/Y.1331 □ Tara de alineación de trama de OTUk/ODUk.

### 3.9.1 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. 3.23) 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. 3.23/G.709/Y.1331, Estructura de tara de señal de alineación de trama.

### 3.9.2 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. 3.24). 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. 3.24 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.

### 3.10 Descripción de OTUK OH

En las figuras 3.25 y 3.26 se muestran la ubicación de la tara de OTUK.

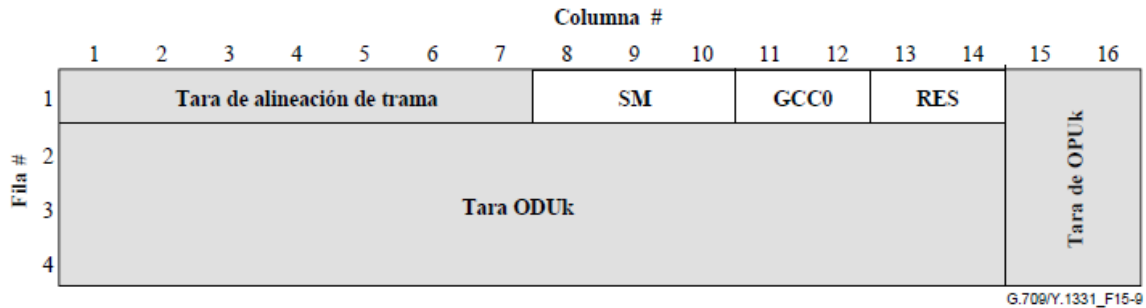


Fig. 3.25/G.709/Y.1331 □ Tara de OTUK.

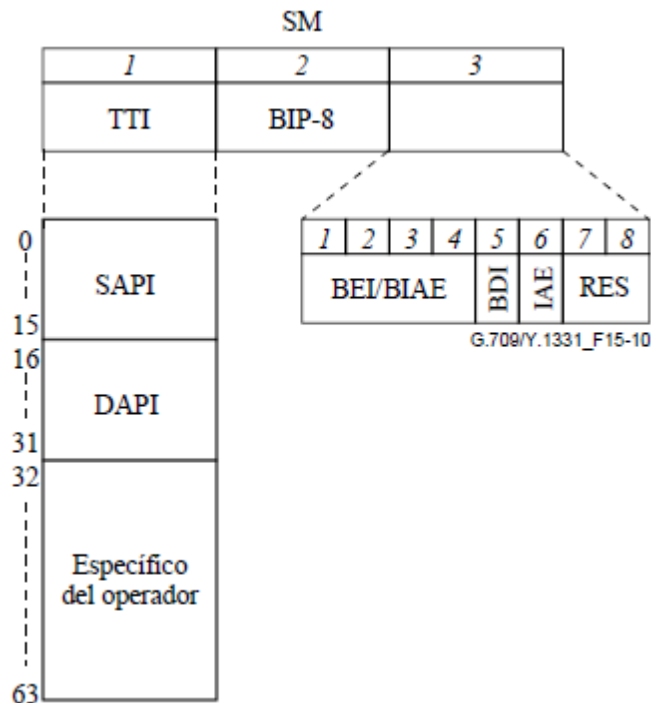


Fig. 3.26/G.709/Y.1331 □ Tara de supervisión de sección de OTUK

### 3.10.1 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  $8^{11}$  (BIP-8, *bit interleaved parity-8*).

---

<sup>11</sup> 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. 3.27).

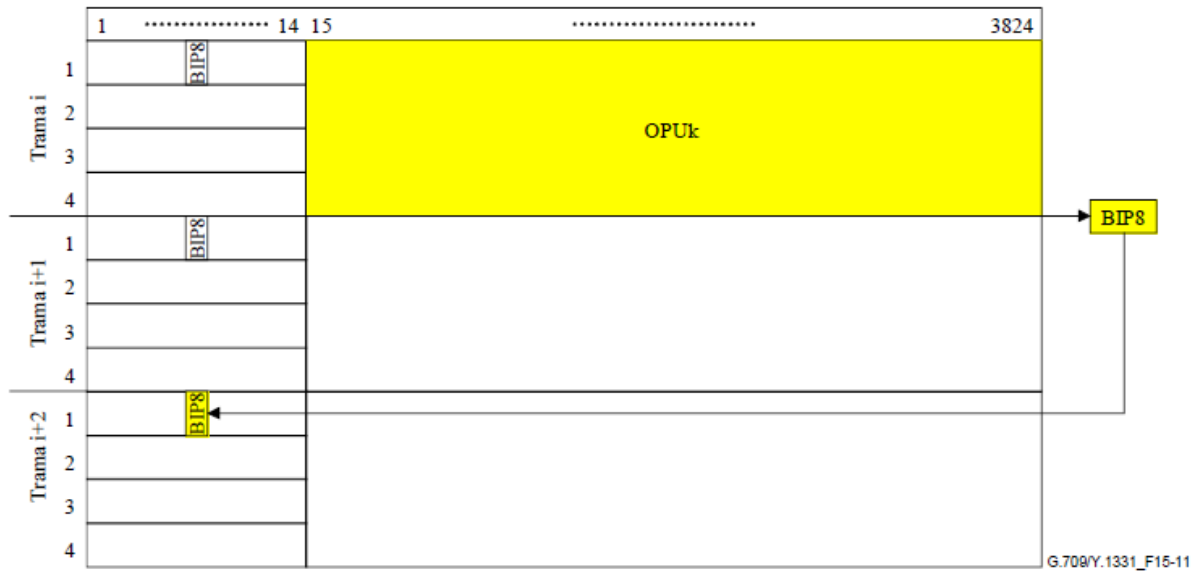


Fig. 3.27/G.709/Y.13, Cálculo de BIP-8 de OTUk SM.

**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 3.13) y como BIAE no activo.

Tabla 3.13/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

## **Conclusiones**

La evolución del sector hacia las redes convergentes o redes de alta velocidad está ligada a la evolución del estado hacia la sociedad de la Información, en la medida en que estas redes constituyen la principal infraestructura para el transporte de la información y para la conectividad de los diferentes usuarios.

En la actualidad la mayor parte de las redes de datos ópticos se sustentan en la transmisión de paquetes sobre jerarquías digitales síncronas o plesíocronas. Estos sistemas de transmisión idealmente diseñados para el tráfico telefónico no son adecuados para la transmisión de datos, ya que la asignación de ancho de banda no es flexible y la cantidad del mismo destinado a cabeceras e información para la configuración de protección es muy grande. Además, el encaminamiento de los datos debe hacerse previa demultiplexación de la señal, con lo que cada nodo de la red debe incorporar conversores opto-electrónicos y electro-ópticos que los hace costosos y poco eficaces.

Por otra parte la tecnología WDM permite una gran flexibilidad en cuanto a señalización, monitorización y restauración de red y parece razonable pensar que la evolución lógica de las redes será la de transmitir paquetes IP directamente sobre WDM. Por tanto, esta evolución plantea que las funciones de enrutado y conmutación deben realizarse directamente en el dominio óptico, dando lugar a redes transparentes o completamente ópticas, cuya ventaja principal sería la independencia del formato y la tasa binaria. Esto ya se ha conseguido en parte en varias redes de segunda generación basadas en WDM, donde la conmutación y el enrutamiento de señales se realizan en función de la longitud de onda de la señal óptica sin conversión previa al dominio eléctrico.

No obstante, este tipo de conmutación, de naturaleza bastante lenta, sólo es válida para el establecimiento de circuitos o rutas de reconfiguración limitada (milisegundos, segundos, minutos, horas, meses, años), por lo que aunque este tipo de redes son un avance sustancial respecto a las redes actuales, el

aprovechamiento del ancho de banda que se hace es todavía moderado, aunque mucho mayor que en las redes de primera generación. Así pues, la evolución tiende a la introducción de redes de transporte óptico que conllevaría la simplificación de la actual arquitectura de red IP/ ATM(*Asynchronous Transfer Mode*). SDH(*Synchronous Digital Hierarchy*)/WDM hacia una arquitectura IP/WDM. Las funcionalidades de red proporcionadas por las capas eliminadas tienen que asumirse entonces entre la capa cliente (IP) y la capa de transporte (WDM).

Esta evolución implica para los operadores la innovación continua de su oferta de servicios y redes con el fin de satisfacer las necesidades de la sociedad. La convergencia de servicios, aplicaciones y dispositivos impulsa esta tendencia, para beneficio del cliente, pues obtiene cada vez más y mejores servicios, a un costo competitivo. Las Redes de Nueva Generación NGN (New Generation Networks) son una realidad que permite avanzar hacia la consecución de estos objetivos.

La migración hacia redes de alta velocidad no significa la sustitución total de las redes ya existentes, sino por el contrario, la integración de las redes de telefonía convencionales. Esto significa que las redes tradicionales pueden evolucionar, adaptarse y hacer parte de las redes de nueva generación, para mantener las inversiones. La modernización de acceso es la base para proveer los nuevos servicios y aplicaciones (datos, voz y multimedia) en la misma red. Las NGN irán reemplazando progresivamente elementos y áreas de las RTPC (Redes Telefónicas Públicas Conmutadas) tradicionales, construyendo en base a la Línea Digital de Suscriptor) xDSL (Digital Subscriber Line, por sus siglas en inglés), acceso de fibra y con la convergencia de servicios o aplicaciones fijo – móvil e Internet.

De ahí que el sector de las telecomunicaciones se modernice constantemente, incorporando nuevas tecnologías o adaptando las ya existentes, nuevos actores y

nuevos escenarios de convergencia de redes y servicios para responder a las nuevas demandas de los usuarios finales.

Aquí es importante señalar que la migración a NGN trae consigo tanto ventajas como preocupaciones. Dentro de las ventajas se pueden citar: la disponibilidad de una gran variedad de servicios y fácil movilidad entre ellos, la posibilidad del usuario para elegir el tipo de acceso que más se adecue a sus necesidades ya sea atendiendo a criterios de precios ó calidad del servicio, y la mayor velocidad de transmisión, entre otras.

Dentro de las principales razones para la migración hacia Redes de fibra óptica de alta velocidad, se pueden citar las siguientes:

- Eficiencia de costos: economías de alcance propias de una única red troncal basada en IP y reducción de costos operativos al permitir la eliminación de centrales locales.
- Diversificación de fuentes de ingresos: erosión de ingresos por rubros tradicionales (paso de la voz a la banda ancha).
- Demanda de los consumidores de mayores velocidades de transmisión.
- Presión competitiva: prestadores de TV por cable, empresas eléctricas, proyectos municipales/públicos y proveedores alternativos.

Aquí es importante señalar que la migración a redes de alta velocidad trae consigo tanto ventajas como preocupaciones. Dentro de las ventajas se pueden citar: la disponibilidad de una gran variedad de servicios y fácil movilidad entre ellos, la posibilidad del usuario para elegir el tipo de acceso que más se adecue a sus necesidades ya sea atendiendo a criterios de precios ó calidad del servicio, y la mayor velocidad de transmisión, entre otras. Un aspecto importante a destacar, es que este tipo de redes permiten la convergencia de las comunicaciones fijas y móviles, permitiendo así que el usuario escoja acceso fijo o móvil o una combinación de ambas con las capacidades de transporte utilizando una única identidad como suscriptor. Lo anterior implica también un nuevo rol comercial que jugarán los diferentes proveedores de servicios de telecomunicaciones, para

atender de manera oportuna y eficiente las diferentes demandas de los consumidores.

**Bibliografía**

1. **Arzate** Molineros Pablo, Taller de tecnologías SDH y Ethernet, Abril 2010, pp. 1-15
2. **R.C.** Alferness, H. Kogelnik, T. H. Wood. "The evolution of optical systems: Optics everywhere". Bell Labs Technical Journal. Vol. 5. 2000.
3. **Couch** II Leon W. (1997). Digital and analog communications systems (5ª ed.). U.S.A.: Prentice-Hall International Inc..
4. **Mayagoitia** Chavira Rubén, SDH de Nueva Generación, Intelmex 2011
5. **Stallings** William (2004). Comunicaciones y Redes de computadores (7ª ed.). Madrid: Pearson Educación S.A
6. **Rec. UIT-T G.707/Y.1322.** series y: global information infrastructure, internet protocol aspects and next generation networks internet protocol aspects transport.
7. **Rec. UIT-G.709/Y.1331** series y: global information infrastructure, internet protocol aspects and next generation networks internet protocol aspects transport.

**Referencias Electrónicas**

1. [http://apuntescientificos.org/ley\\_de\\_rayleigh.html](http://apuntescientificos.org/ley_de_rayleigh.html)
2. [http://www.dell.com/downloads/global/corporate/environ/comply/emc\\_dellemc\\_eu\\_ce\\_spanish.pdf](http://www.dell.com/downloads/global/corporate/environ/comply/emc_dellemc_eu_ce_spanish.pdf)
3. [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)
4. <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema09.htm>
5. <http://es.wikipedia.org/wiki/Kevlar>
6. [http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones\\_de\\_Fresnel](http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaciones_de_Fresnel)
7. <http://es.wikipedia.org/wiki/Crimpado>
8. <http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=contenido&t=3>
9. <http://www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html>
10. [http://www.compasstech.com.mx/ct-html/telefonía\\_ip.html](http://www.compasstech.com.mx/ct-html/telefonía_ip.html)
11. <http://www.mailxmail.com/curso-jerarquia-digital-síncrona-sdh/elementos-sistema-transmision-síncrona>
12. <http://librosnetworking.blogspot.com/2006/11/introduccion-ospf.html>
13. <http://www.angelfire.com/wi/ociosonet/29.html>