

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“DISEÑO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA DE LA INTEGRACIÓN  
DE SIERRA NORTE Y SIERRA CENTRO AL SISTEMA DE  
COMUNICACIONES DIGITAL DE ETECEN”**

**INFORME DE INGENIERÍA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**LUIS ZENÓN CATALÁN FONSECA**

**PROMOCIÓN**

**1992-I**

**LIMA-PERÚ**

**2002**

A mis padres, quienes inculcaron en mí el deseo de superación tanto como los principios morales, y que pese a las dificultades económicas siempre me apoyaron para lograr mis metas, y hoy pese a la distancia me siguen apoyando con su fé y confianza.

**DISEÑO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA DE LA INTEGRACIÓN DE SIERRA NORTE Y  
SIERRA CENTRO AL SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITAL  
ETECEN**

## SUMARIO

Las necesidades de comunicación entre las distintas subestaciones de Etecen, como son telefonía, datos, SCADA, teleprotección, y Party Line, están siendo atendidas parcialmente por un sistema de onda portadora, la cual tiene sus limitaciones de calidad y capacidad, en toda la costa ya existe una red digital por microondas, la integración de las Unidades de Transmisión Sierra Norte y Sierra Centro a esta red tiene como una de sus alternativas el **Enlace por Fibra Óptica**, por que adicionalmente a las ventajas propias de calidad de transmisión, permite tener una suficiente capacidad, para brindar servicios a terceras empresas.

El Enlace por Fibra Óptica se realizará utilizando la misma infraestructura de las Líneas de transmisión Eléctrica, si bien las comunicaciones no serán afectadas por el campo eléctrico generado por las tensiones altas, el cable debe tener las condiciones mecánicas y eléctricas, de tal forma que no afecten ni sean afectados por el sistema eléctrico o su infraestructura.

Se analizarán los distintos tipos de cables aplicables a las redes eléctricas, los tipos de fibra, y los equipos de transmisión, y se realizará el diseño de acuerdo a la solución técnico económica mas factible.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>01</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>FIBRAS ÓPTICAS Y SUS CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>03</b>
1.1. Ventajas de la fibra óptica	<b>03</b>
1.2. Configuración básica de un enlace por fibra óptica	<b>04</b>
1.3. Principios de la transmisión por fibra óptica	<b>07</b>
1.4. La fibra óptica de dióxido de silicio	<b>08</b>
1.5. Atenuación espectral de la fibra óptica.	<b>09</b>
1.6. Tipos de fibra óptica	<b>13</b>
1.7. Características de transmisión de la fibra óptica	<b>15</b>
1.8. Estructura de la fibra óptica recubierta	<b>16</b>
1.9. Estructura de cables de fibra óptica	<b>20</b>
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DISPOSITIVOS ÓPTICOS ACTIVOS</b>	<b>23</b>
2.1. Fuentes ópticas	<b>23</b>
2.2. Detectores ópticos	<b>26</b>
2.3. Filtros ópticos semiconductores	<b>27</b>
2.4. Amplificadores ópticos semiconductores	<b>29</b>

**CAPITULO III**

<b>DISPOSITIVOS ÓPTICOS PASIVOS</b>	<b>30</b>
3.1 Aisladores ópticos	30
3.2 Acopladores ópticos	32
3.3 Multiplexores y demultiplexores ópticos	34
3.4 Circuladores ópticos	34
3.5 Compensadores de dispersión cromática	35
3.6 Filtros ópticos pasivos	37
3.7 Amplificadores de fibra dopada	37

**CAPITULO IV**

<b>DISPOSITIVOS ÓPTICOS DE INTERCONEXIÓN</b>	<b>42</b>
4.1. Generalidades	42
4.2. Empalmes de fibras ópticas	45
4.3. Conectores de fibra óptica	45

**CAPITULO V**

<b>TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA</b>	<b>57</b>
5.1. Técnicas de modulación óptica	58
5.2. Técnicas de detección óptica	59
5.3. Técnicas de multiplexación en comunicaciones ópticas	63
5.4. Esquema de la nueva tecnología de redes ópticas	65

**CAPITULO VI**

<b>SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL</b>	<b>67</b>
6.1. Jerarquía digital plesiócrona	67
6.2. Jerarquía digital síncrona	69

6.2.	Jerarquía digital síncrona	60
<b>CAPITULO VII</b>		
<b>LA RED ELÉCTRICA ETECEN</b>		<b>66</b>
7.1	Análisis de las líneas de transmisión	66
7.2	Datos relacionados a las líneas de transmisión	68
<b>CAPITULO VIII</b>		
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIPOS DE CABLE Y FIBRA ÓPTICA</b>		<b>70</b>
8.1	Tipos de cable de fibra óptica	70
8.2	Tipos de fibra óptica	72
8.3	Criterios considerados en la selección del cable de fibra óptica	73
8.4	Criterios para la selección de la fibra óptica	77
<b>CAPITULO IX</b>		
<b>DISEÑO DE LA RED DE ENLACE</b>		<b>80</b>
9.1.	Criterios considerados	80
9.2.	Topología de la red.	81
9.3.	Calculo de la capacidad de cada enlace.	82
9.4.	Calculo del número de fibras por sección de línea.	89
9.5	Calculo por sección de regeneración	93
9.6	Descripción del Sistema.	106
<b>CAPITULO X</b>		
<b>METRADO COSTOS Y PRESUPUESTO</b>		<b>109</b>
10.1.	Metrado y costo de equipos Equipos	109
10.2.	Metrado y costo de Materiales	113

10.3. Medrado y costo de Mano de Obra	115
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO A</b>	
<b>EQUIPOS DE MEDICION EN FIBRAS OPTICAS</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO B</b>	
<b>HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS DE INSTALACIÓN Y CONEXIONADO EN CABLES DE FIBRA ÓPTICA</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO C</b>	
<b>ADAPTADORES Ó ACOPLADORES DE INTERCONEXIÓN DE FIBRA ÓPTICA</b>	<b>138</b>
<b>ANEXO D</b>	
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FABRICANTES</b>	<b>149</b>
D.1 Especificaciones de cables de fibra óptica	150
D.2 Especificaciones de equipos en nodos	161
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>164</b>

## PRÓLOGO

La apertura en las comunicaciones en todo el mundo ha hecho de las líneas de transmisión eléctrica una de las grandes plataformas para los operadores, por eso y además por las necesidades de comunicaciones propias de las empresas eléctricas, la fibra óptica en las líneas de alta tensión se ha convertido en un hecho muy usual, también es usual arrendar una infraestructura, como postes o torres eléctricas, cable instalado, e inclusive el uso parcial de la capacidad de un enlace (un número de fibras, ó un número de longitudes de onda dentro de un enlace de fibra).

La tecnología de las comunicaciones por fibra óptica está evolucionando a pasos agigantados, hoy en día ya no se habla solo de comunicaciones ópticas, si no también de redes ópticas; esto es posible con la tecnología de la multiplexación por longitud de Onda (WDM) la construcción de amplificadores ópticos, técnicas de inserción /extracción, y detección heterodina.

La gran evolución también de otras tecnologías exige que la demandas de capacidades de la fibra sean mayores; para lograr esto se emplea multiplexación por longitud de Onda (WDM), por lo que la fibra utilizada debe ser la mas adecuada para este caso los multiplexores pueden ser PDH (Jerarquía digital Plesiócrona) o SDH (Jerarquía digital síncrona), nosotros utilizaremos preferentemente SDH por sus ventajas técnicas sobre PDH que analizaremos en detalle, el acceso se realizará basado

en la trama PCM, por lo que en caso de utilizar SDH será necesario tener tributarios de 2 Mb/s.

Los ODF y DDF se dimensionarán de acuerdo a la capacidad máxima del cable de fibra óptica.

Evaluaremos también el tipo de cable de fibra óptica que se deberá instalar, el número de fibras que deberá tener este, y tipo de fibra ; como veremos en detalle el cable de fibra deberá tener una construcción adecuada para instalarse en redes eléctricas.

## **CAPITULO I**

### **FIBRAS ÓPTICAS Y SUS CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN**

#### **1.1 Ventajas de la fibra óptica**

La fibra óptica actualmente es el medio de transmisión mas utilizado en redes de comunicación, sus propiedades permiten obtener ventajas significativas sobre otros medios.

Las ventajas mas importantes son:

- a) **Baja atenuación**, en fibras monomodo por debajo de 0.2 dB/Km., lo que permite transmisiones sin repetidor de alrededor de 100 Km., dependiendo de la velocidad de transmisión.
  
- b) **Gran ancho de banda**, en banda base se puede obtener hasta varios Gigahertz, por lo que es posible transmitir señales digitales de hasta 2.5 Gb/s o más, dependiendo de la distancia.
  
- c) **Inmune al ruido eléctrico**, esto permite redes en lugares donde la presencia de equipos eléctricos que generan alto ruido, como motores, transformadores, etc.

- d) No existe diafonía** , las señales que viajan por una fibra óptica, no se inducen por otra, sin embargo en una sola fibra puede existir interferencia intersímbolos, por la multiplexación eléctrica o por la multiplexación óptica.
- e) Peso liviano**, lo que facilita su transporte e instalación
- f) Reducido diámetro**, esto permite concentrar un gran número de cables en poco espacio, reduciendo costos en infraestructura de planta externa
- g) Alta capacidad de transmisión**, por su gran ancho de banda y con la multiplexación óptica se logra capacidades de 40 Gb/s o más

## **1.2 Configuración básica de un enlace por fibra óptica**

Un enlace por fibra óptica utiliza todos los elementos de un enlace convencional, adicionalmente necesita una conversión de la señal eléctrica en señal óptica en el lado de transmisión, y conversión óptica en eléctrica en el lado de recepción, en las figuras 1.1 y 1.2 mostramos en forma gráfica el esquema básico de un enlace por fibra óptica Analógico y el de un enlace por fibra óptica digital.

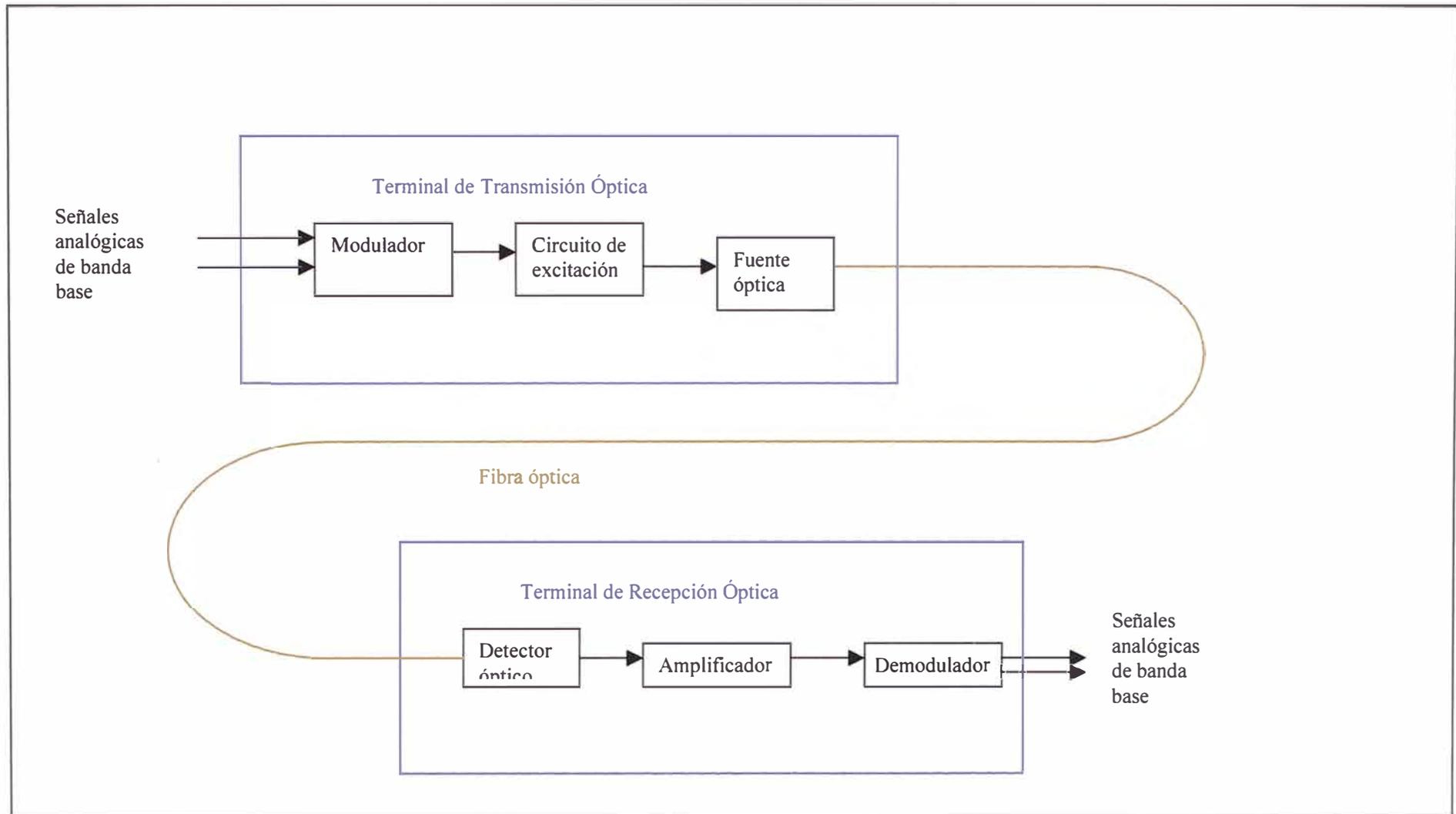


Fig. 1.1

Sistema de Transmisión Analógica

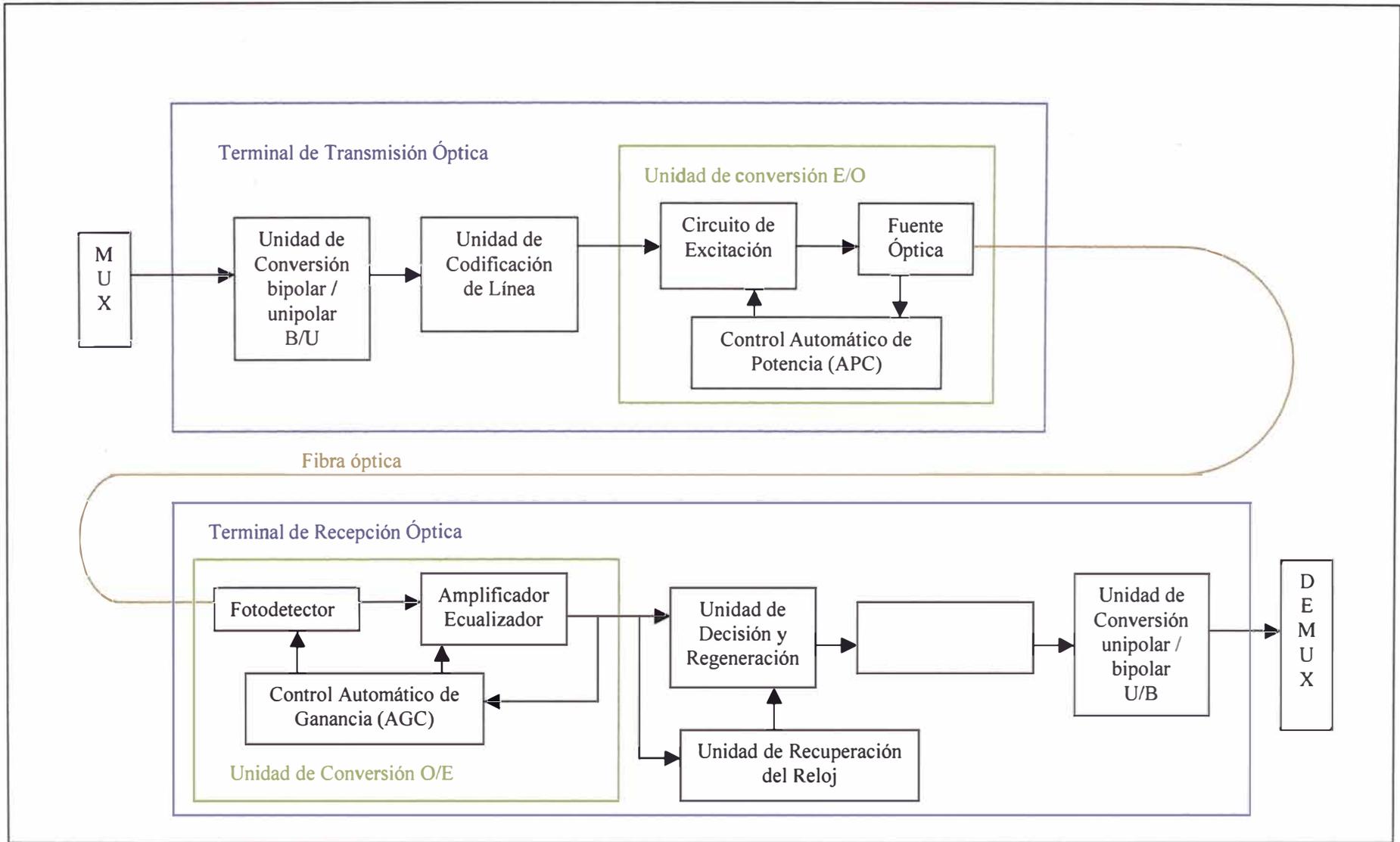


Fig. 1.2

Sistema de Transmisión Digital

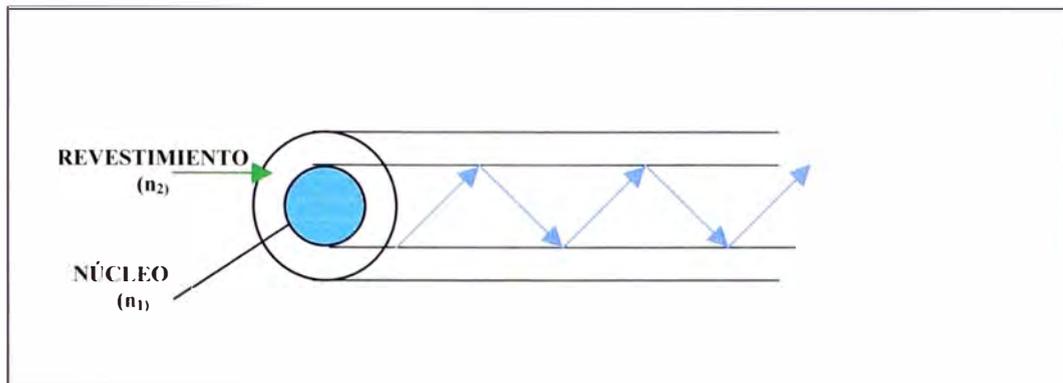
### 1.3 Principios de la transmisión por fibra óptica

La transmisión de información por fibra óptica se basa en la propagación de la luz por una guía de onda de material dieléctrico, por lo que su estudio puede abordarse por tres métodos: Aplicando la **teoría de Maxwell**, útil principalmente en el análisis de fibras monomodo, **método de aproximación**, de mejor aplicación en fibras multimodo de índice gradual, y el método de **Óptica de Rayos**, el cual simplifica los conceptos, que pueden fácilmente ser aplicados en todos los casos en que se transmite una sola longitud de onda por la fibra, en lo sucesivo aplicaremos conceptos de la Óptica de rayos para explicar el fenómeno, y en caso necesario utilizaremos fórmulas derivadas de las ecuaciones de Maxwell.

Los principios básicos de la transmisión de la luz son el de la reflexión y la refracción, lo que permite confinar un haz de luz en un medio transparente, rodeado de un medio que permita la reflexión total, por lo que el conjunto que se denomina fibra óptica, es un cilindro de material de índice de refracción  $n_1$  el que se denomina núcleo, rodeado por una corteza cilíndrica de índice de refracción  $n_2$  denominado revestimiento.

El índice de refracción es una característica propia de cada material y es la relación entre la velocidad de luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho material de tal forma que  $V = C/n$ , donde  $V$  = velocidad de la luz en el material,  $C$  = velocidad de la luz en el vacío,  $n$  = índice de refracción. De lo anterior se deduce que  $n_1$  debe tener un valor lo mas cercano posible a 1 para lograr la mayor velocidad en el medio.

La figura 1.3 muestra el principio básico de la transmisión en la fibra óptica:



**Fig. 1.3 Propagación de la luz a lo largo de las fibras**

Del gráfico y en cumplimiento de la ley de Snell  $n_1 > n_2$ , lo que significa que con un valor de  $n_1$  lo suficientemente grande el ángulo crítico de reflexión interna será mínimo, pero mientras mayor sea el índice de refracción relativo, mayor es el número de modos, por lo que la diferencia relativa entre ellos es menor del 1% para fibras multimodo, y de 0.1% para fibras monomodo.

#### 1.4. La fibra óptica de dióxido de silicio

Existen fibras ópticas de distintos materiales, con aplicaciones diversas, en telecomunicaciones la más difundida es la de dióxido de silicio, aunque actualmente se está difundiendo la fibra a base de polímeros para conexiones entre servidor y switches o concentradores de una red de datos; sin embargo para otras aplicaciones la fibra de vidrio o dióxido de silicio sigue siendo la óptima.

La fabricación de la fibra de silicio, toma como elemento base el dióxido de silicio, y para lograr el índice de refracción deseado, así como el perfil deseado del mismo, se dopa con otro material como el germanio.

La calidad de la fibra depende de la fabricación, ya que es necesario que la fibra no tenga o tenga el mínimo número de imperfecciones físicas, y oxidrilos.

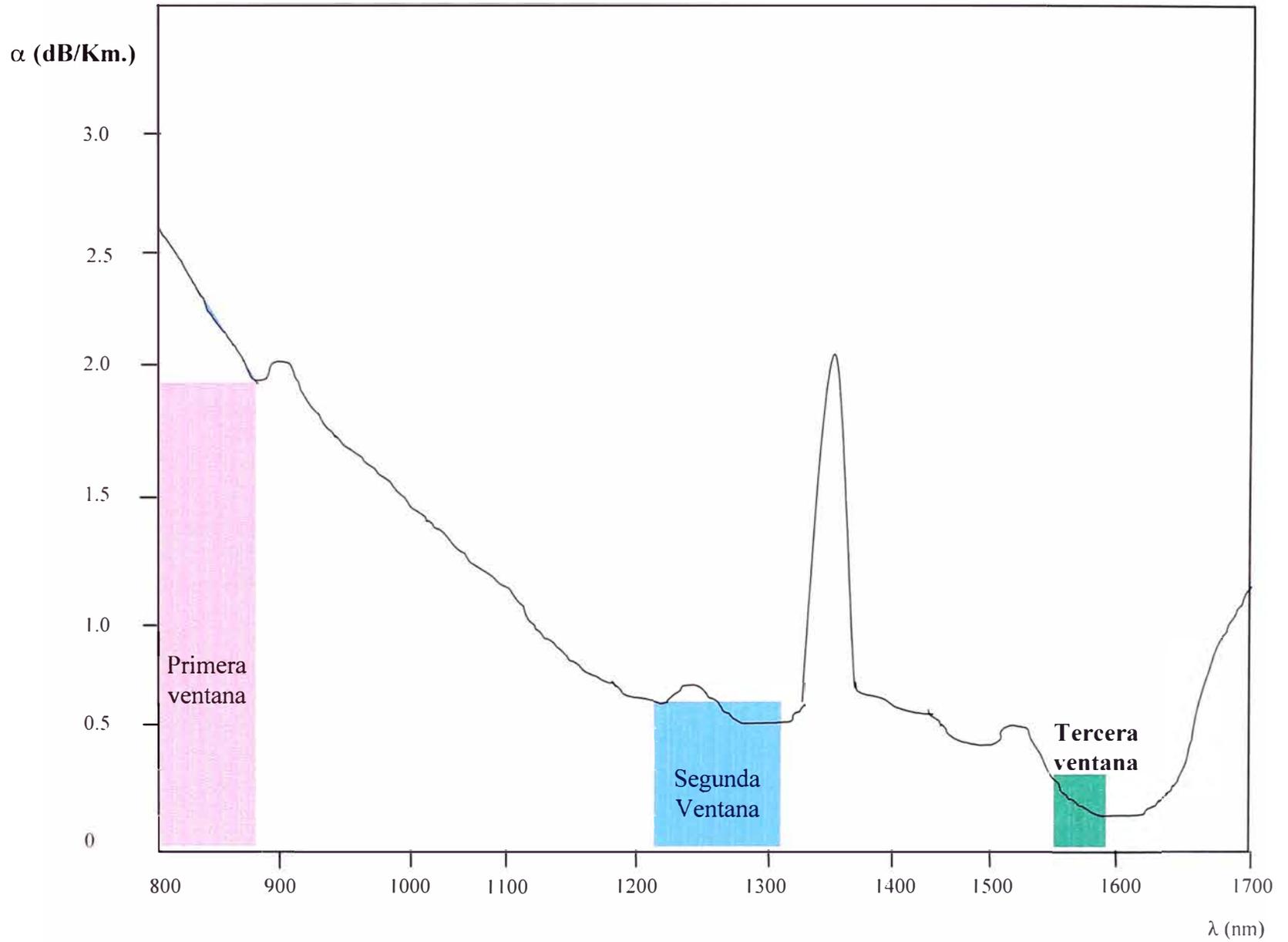
El diámetro total (revestimiento) de una fibra de vidrio está normado por UIT en 125  $\mu\text{m}$ , el núcleo puede estar alrededor de los 10  $\mu\text{m}$  para fibras monomodo, o alrededor de los 50  $\mu\text{m}$  para fibras multimodo, también existen fibras normadas por la TIA/EIA con núcleos en fibra multimodo de 62.5  $\mu\text{m}$ .

### **1.5 Atenuación espectral de la fibra óptica**

El fenómeno de retrodispersión de Rayleigh genera una atenuación en la fibra óptica en proporción inversa a la cuarta potencia de la longitud de onda ( $\lambda^4$ ), lo que quiere decir que a mayor longitud de onda la atenuación sería menor; sin embargo impurezas en la fabricación introducen radicales OH en el material lo que provoca pérdidas en determinados rangos de longitud de onda; estos rangos y niveles de pérdida varían de acuerdo a la tecnología de la fabricación, por lo que a medida que fue mejorando ésta, se fueron descubriendo rangos de longitud de onda de menor atenuación total; así al inicio se trabajaba en el rango de longitud de onda de 780 nm - 950 nm, al que se le denomina primera ventana, luego la segunda ventana en el rango de 1270 nm - 1350 nm, la tercera ventana en el rango de 1530 nm - 1565 nm, y la última generación con la cuarta ventana en el rango de 1565 nm - 1620 nm.

De lo anterior y sabiendo que  $f = C/\lambda$ , La frecuencia está en el orden de  $10^8/10^{-6} = 10^{14}$  Hertz, es decir del orden de los 100 Tera Hertz, esto es mucho mayor a la frecuencia de cualquier portadora eléctrica, lo que nos permite deducir que es

posible transmitir mucha mas información utilizando técnicas de modulación y multiplexación apropiadas. En la figura 1.4 se muestra la atenuación espectral de una fibra de silicio convencional, y en la figura 1.5 todo el espectro electromagnético y la ubicación en él del espectro de las comunicaciones ópticas.



**Fig. 1.4** Atenuación espectral de una fibra de silicio convencional

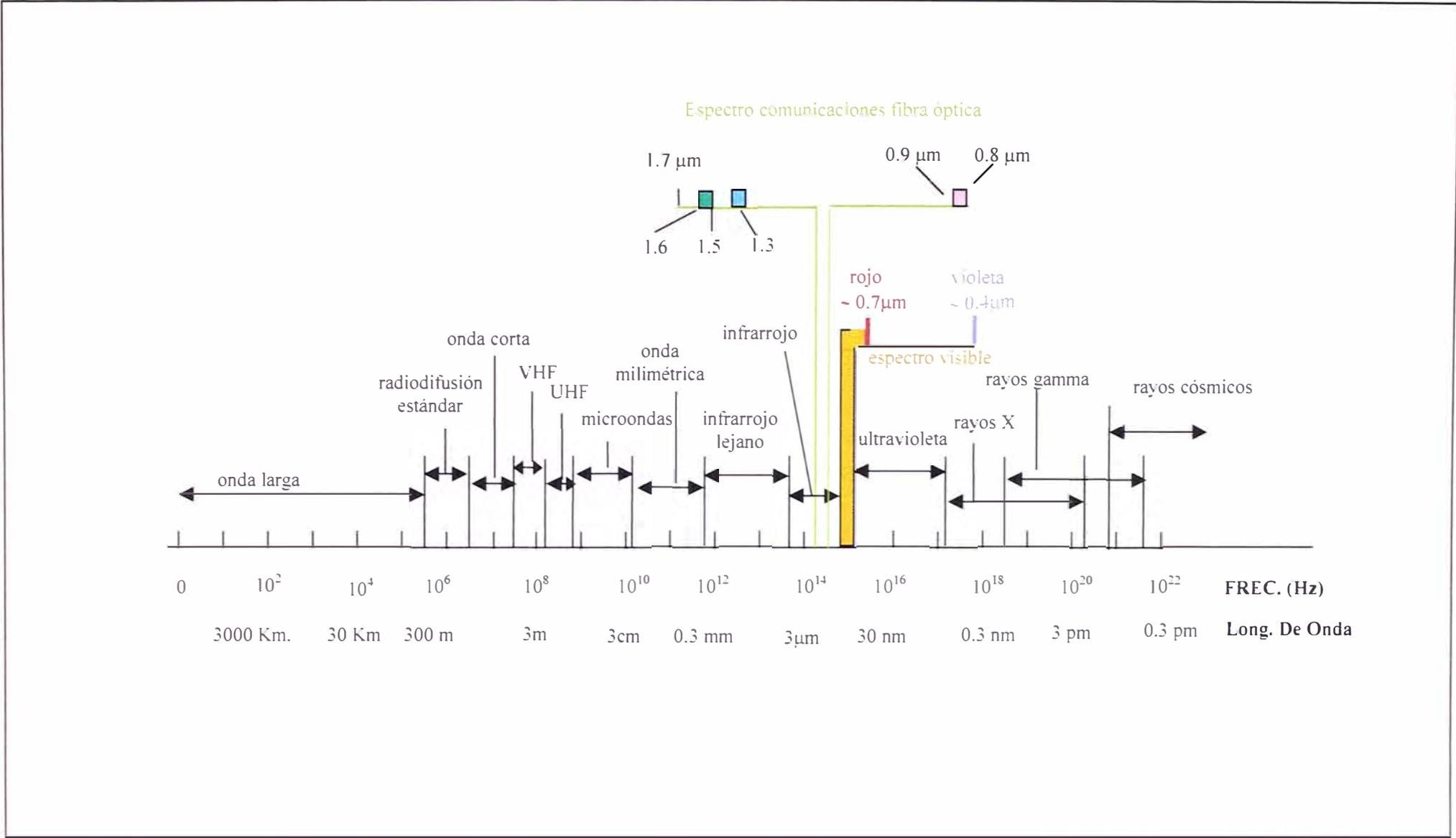


Fig. 1.5 Espectro electromagnético

## 1.6 Tipos de fibra óptica

La fibra óptica de silicio está clasificada por el número de modos de propagación y por el perfil de su índice de refracción.

Los campos electromagnéticos que se propagan por el interior de una guía de onda lo hacen en base a una serie de configuraciones energéticas de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell particularizadas para la estructura concreta de la fibra. Estas posibles formas de propagación, solución de la ecuación de ondas, reciben el nombre de **modos**. En base a esta teoría es posible hacer pasar un solo modo por la fibra, si esta tiene el núcleo de diámetro reducido (entre 8 y 10  $\mu\text{m}$  según norma), la longitud de onda es mayor que 1.1  $\mu\text{m}$ , y la apertura numérica se elige de un valor adecuado.

Hacer posible la transmisión de un sólo modo, es complicado y costoso, por lo que se fabrican también fibras con propiedades multimodo; al transmitir más de un modo de propagación se produce dispersión y en consecuencia limitaciones en ancho de banda, por lo que para compensar la dispersión modal se fabrica fibras con el índice de refracción gradual; La Luz transmitida a través de la fibra no posee una longitud de onda única, lo que también produce dispersión denominada dispersión cromática, esta dispersión es mínima para una longitud de onda de 1.3  $\mu\text{m}$ , para minimizar la dispersión cromática en otras ventanas se dopa el material con otros materiales.

Luego podemos clasificar a la fibra óptica en primer lugar por el número de modos, luego por su perfil de índice de refracción, y finalmente por la tecnología de

compensación de la dispersión cromática, los tipos mas conocidos y sus características se detallan en el cuadro I.1.

**CUADRO I.1  
TIPOS DE FIBRA Y SUS CARACTERÍSTICAS**

TIPO DE FIBRA	ESTRUCTURA a(μm) / b (μm) a = diam. núcleo b= diam. revest.	CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN			COMENTARIO	
		Atenuación (dB/Km.)				BW (Mhz - Km.)
		0.85 μm	1.30 μm	1.55 μm		
Multimodo Índice Escalón	50/125 62.5/125 100/140, etc.	< 6	*	*	<100	Utilizada en redes locales de baja velocidad, su fabricación está discontinuada
Multimodo Índice Gradual	50/125 62.5/125	< 3	< 1	*	100 - 2000	Utilizada en redes locales de alta capacidad, circuito cerrado de video, etc.
Monomodo de dispersión normal	9/125	**	< 1	< 0.5	varios millares	Su uso está generalizado en redes de alta capacidad y/o de largo alcance
Monomodo de dispersión desplazada	8/125	**	< 1	< 0.5	varios millares	Se mejora ancho de banda en 1.55 μm
Monomodo de dispersión casi cero	10.5/125	**	*	<0.5	varios millares	mejor performance en multiplexación óptica
Monomodo de atenuación optimizada	9/125	**	<0.35	<0.5	varios millares	mejor performance en multiplexación óptica
* No especificada por el fabricante, por no ser de utilidad						
** No cumple característica monomodo						

## 1.7 Características de transmisión de la fibra óptica

Las fibras ópticas se caracterizan por su atenuación, y su ancho de banda o dispersión temporal.

**Atenuación óptica,** Es la pérdida de potencia de la luz al propagarse a lo largo de la fibra; las pérdidas son originadas por el fenómeno de dispersión de Rayleigh, por absorción del material y de las impurezas, por imperfecciones estructurales, y micro curvaturas, este valor de atenuación lo proporciona el fabricante en dB/Km. para un determinado longitud de onda, generalmente especifica un valor promedio y un valor máximo. Otras causas de Atenuación son las pérdidas por acoplamiento, y por empalmes estos valores no lo especifican los fabricantes de fibra, lo especifican los fabricantes de fuentes ópticas o los fabricantes de equipos de empalme según el caso y se miden en dB, las curvaturas en la instalación también generan pérdidas por atenuación, por lo que la fibra instalada tendrá una atenuación adicional.

**Ancho de banda y dispersión temporal,** El ancho de banda de e una fibra óptica, está limitada por los mecanismos de dispersión temporal, que distorsionan la señal óptica transmitida

Existen dos tipos de dispersión temporal; dispersión modal, y dispersión cromática, la dispersión modal, conocida también como dispersión intermodal se presenta en las fibras multimodo, y se debe a la diferencia del tiempo de propagación de los modos.

La dispersión cromática, también denominada intramodal es debido a la dependencia del índice de refracción del núcleo con la longitud de onda (dispersión del material), y por las características ópticas y geométricas de la fibra (dispersión debida al guiondas), la dispersión cromática es proporcional a la anchura espectral y a la longitud del enlace.

En fibras multimodo es usual que el fabricante especifique el ancho de banda en MHz-Km, sin embargo en fibras monomodo el fabricante especifica un coeficiente de dispersión cromática en ps.nm.km, la que tiene relación con el ancho de banda.

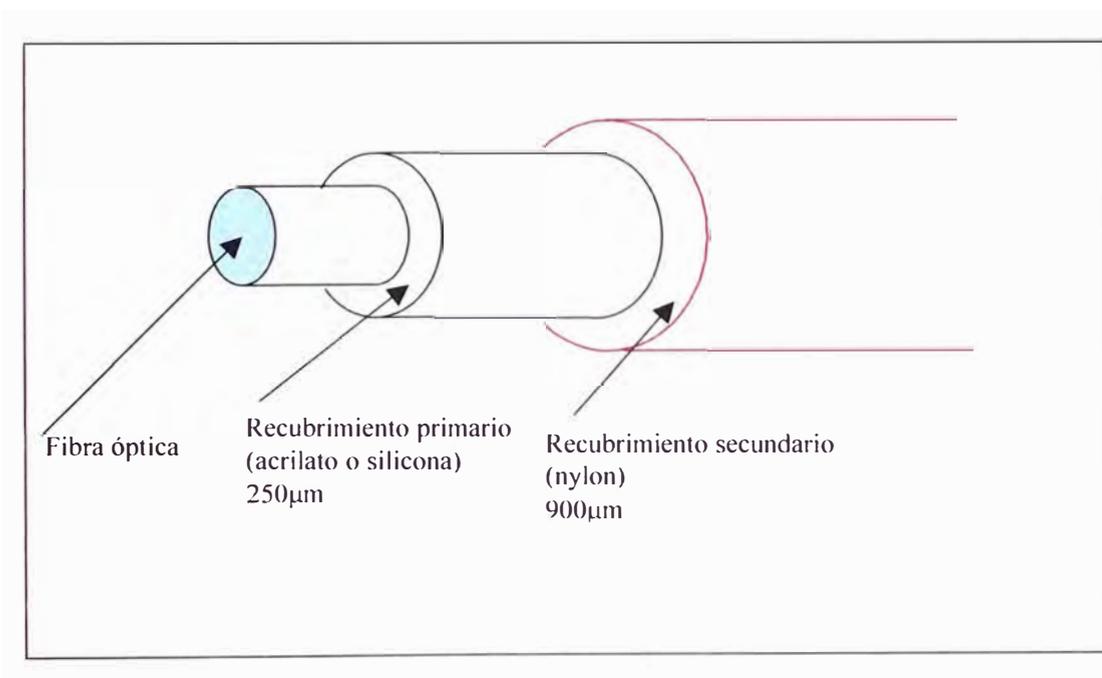
## **1.8 Estructura de la fibra óptica recubierta**

La fibra óptica debe ser recubierta para protegerlo contra el medio ambiente y contra los esfuerzos mecánicos; según su aplicación los tipos de fibra según su recubrimiento son:

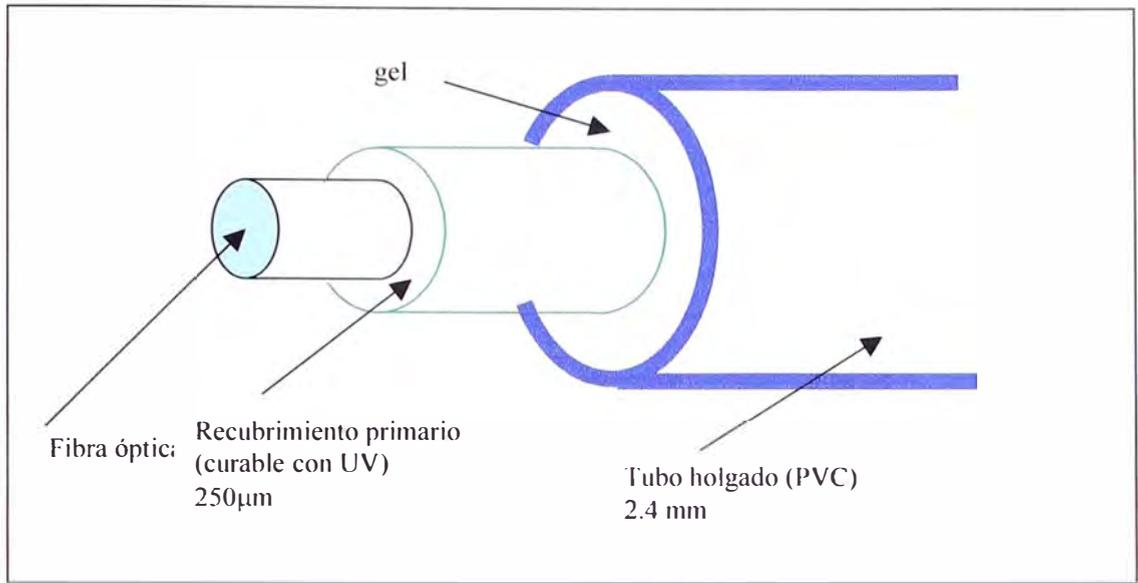
- Estructura apretada o tight buffer, con diámetro exterior de 900  $\mu\text{m}$ , posee un recubrimiento primario de acrilato de 250  $\mu\text{m}$ . Esta fibra se usa generalmente en instalaciones interiores, o pequeños enlaces intercampus.
- Estructura holgada o loose buffer, posee entre el recubrimiento primario de 250  $\mu\text{m}$  y recubrimiento exterior de 1 a 3 mm un espacio libre, generalmente relleno con gel; existen arreglos de varias fibras con recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$  en un sólo recubrimiento exterior. Esta fibra se usa en exteriores, o también en interiores cuando existe una gran densidad fibras por cable.

- Estructura Breakout, es una fibra de estructura apretada con una cubierta adicional de pvc de diámetro entre 1 y 3 mm y entre ellas posee fibras de arámida (Kevlar). Este tipo de fibra se usa en los patchcord y en los enlaces locales con poca densidad de fibras por cable.
- Estructura tipo cinta, consiste en un arreglo de varias fibras de 250  $\mu\text{m}$  (con revestimiento de material curable por ultravioleta), las cuales están unidas en forma paralela formando una cinta; se utiliza en cables de muy alta densidad de fibras.
- Estructura tipo cinta breakout, es una estructura tipo cinta con una cubierta de PVC y protección de fibras de arámida o kevlar.

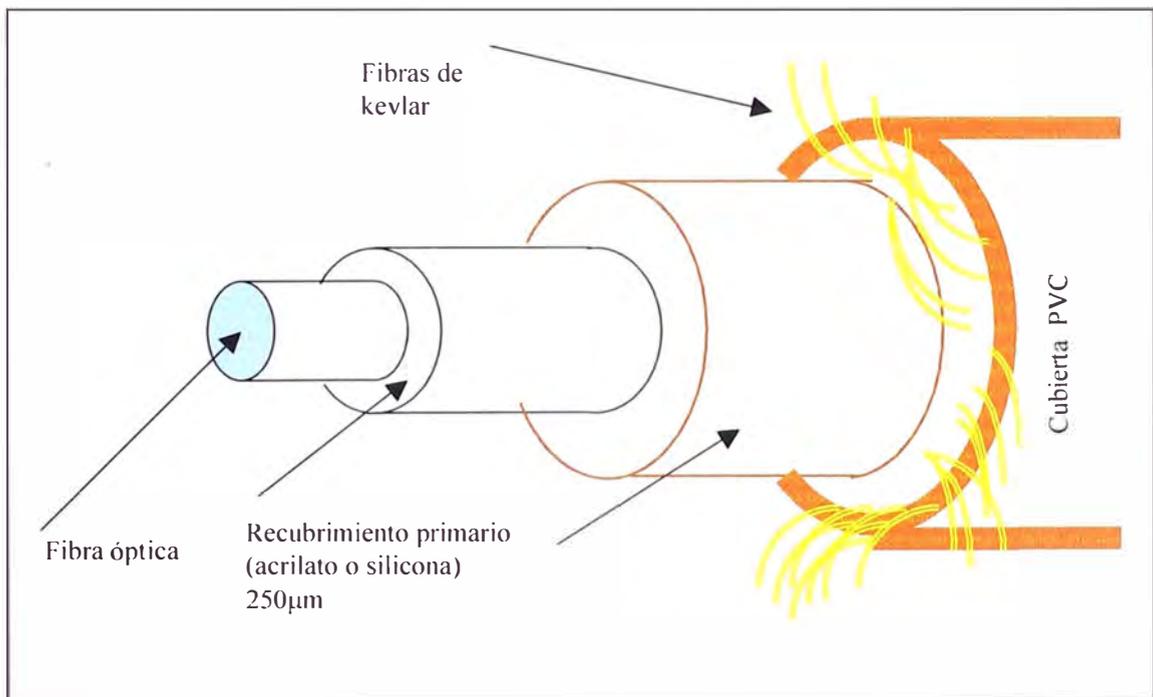
En las figuras siguientes se muestra los distintos tipos de fibras recubiertas.



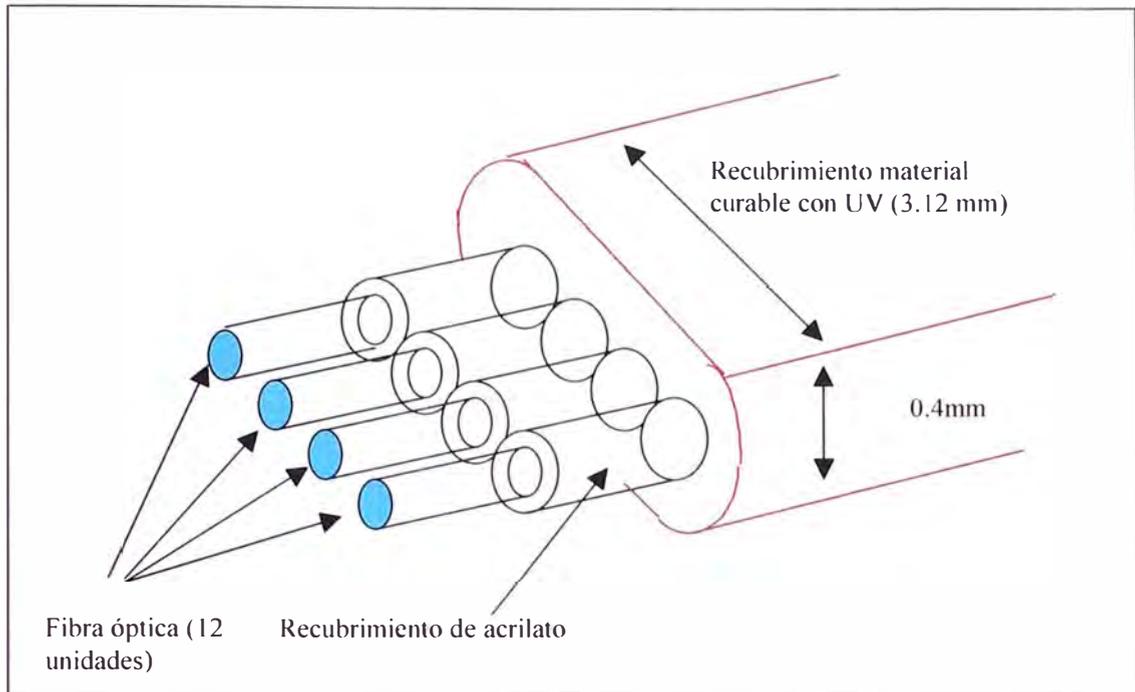
**Fig. 1.6 Estructura apretada**



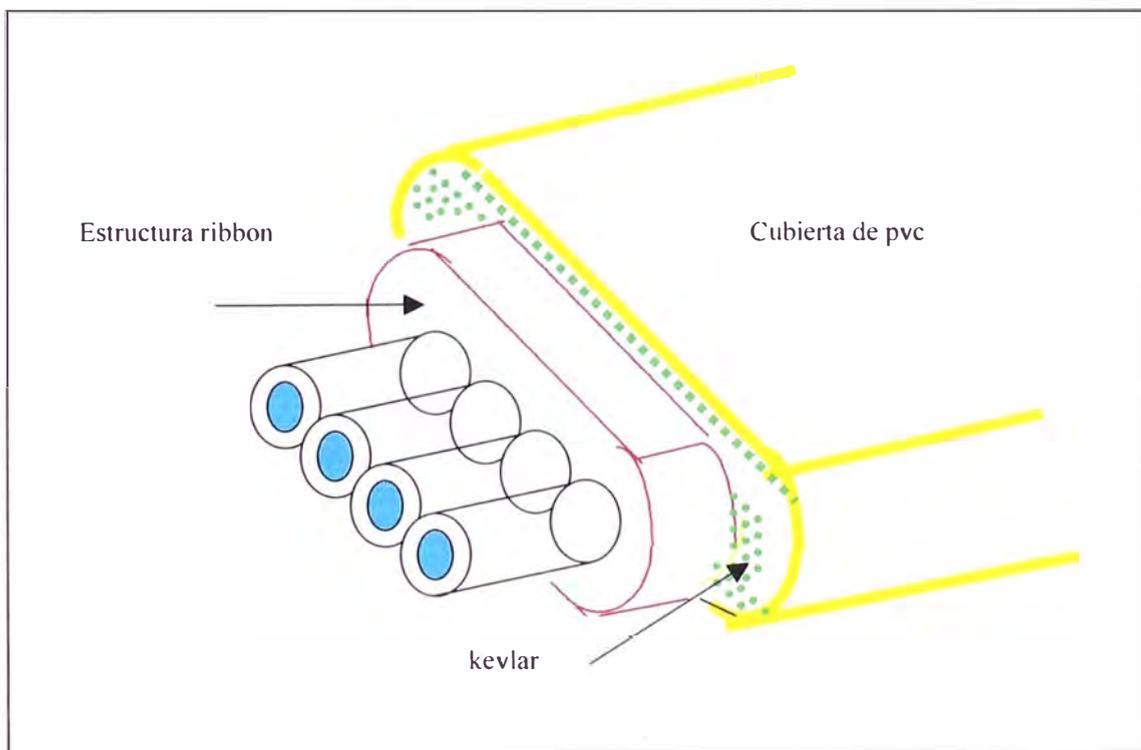
**Fig. 1.7 Estructura holgada**



**Fig. 1.8 Estructura breakout**



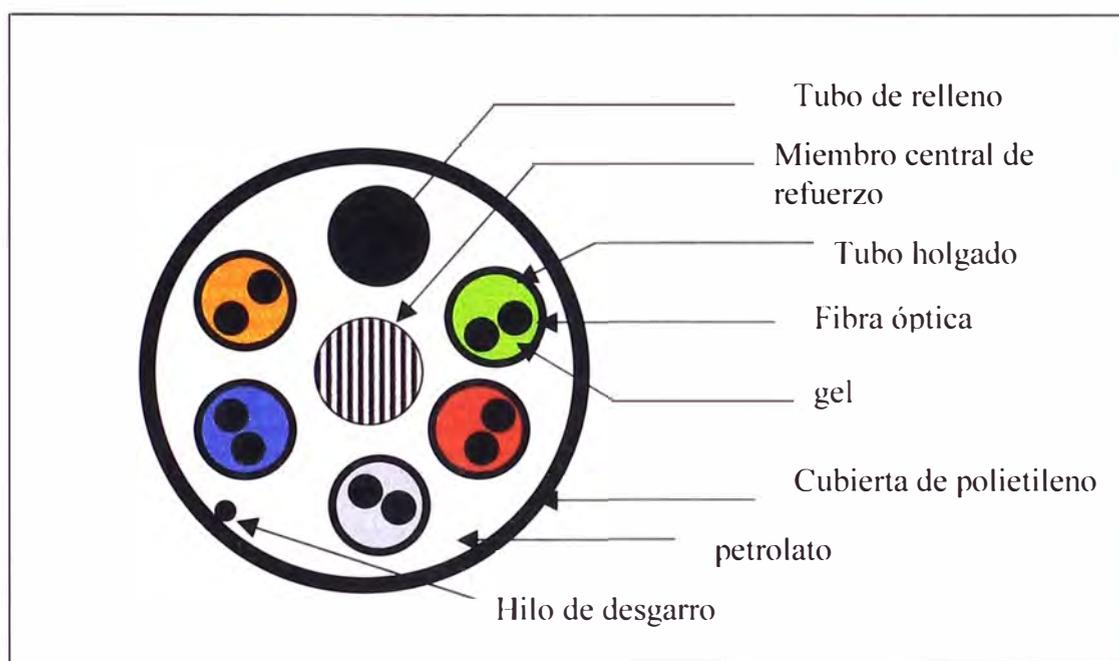
**Fig. 1.9 Estructura tipo cinta o ribbon**



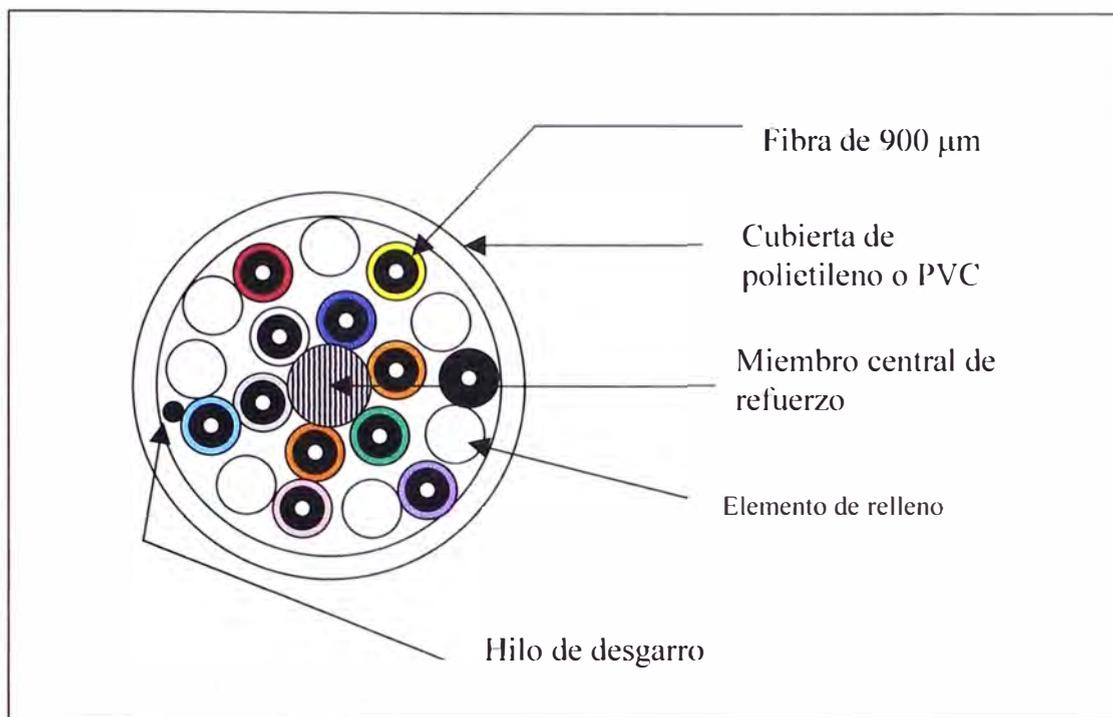
**Fig. 1.10 Estructura ribbon breakout**

## 1.9 Estructura De Cables De Fibra Óptica

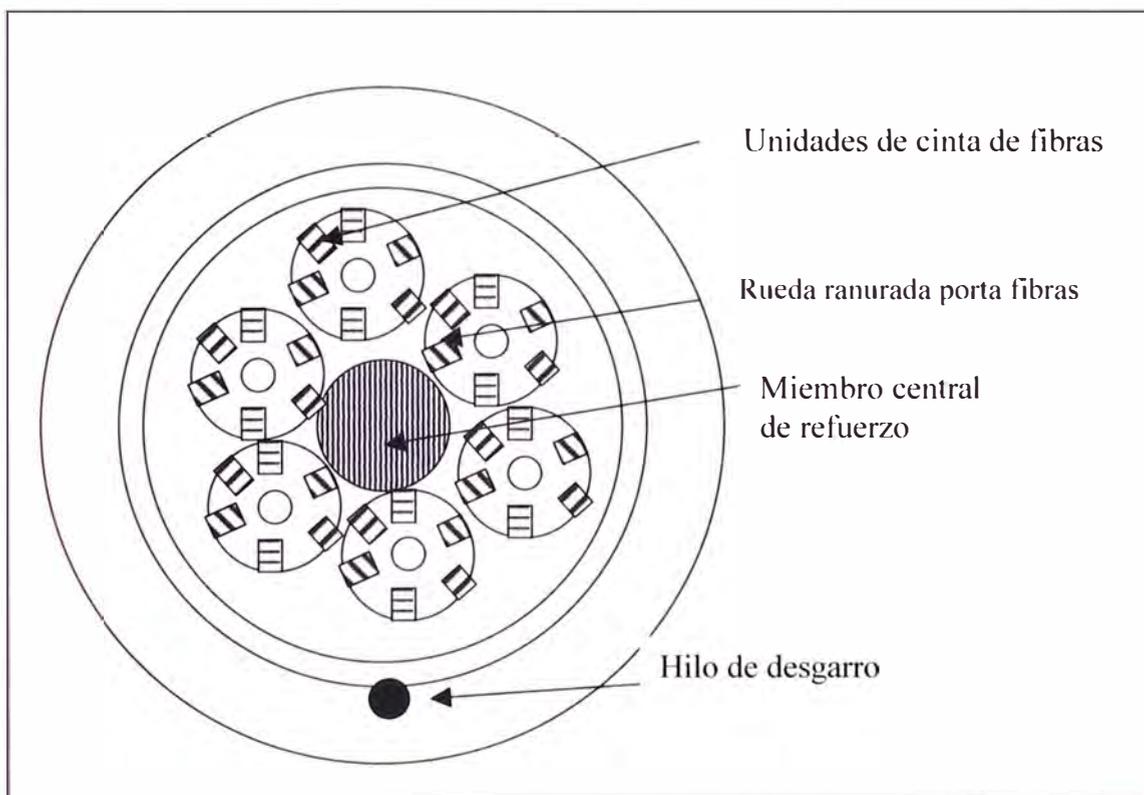
Existen innumerables estructuras de cables, según la necesidad y según el fabricante. las cubiertas son fabricadas con el mismo criterio de protección mecánica y contra el medio ambiente que se usa en la fabricación de cables convencionales, en las figuras siguientes presentamos las secciones transversales de los tipos de estructuras mas comerciales.



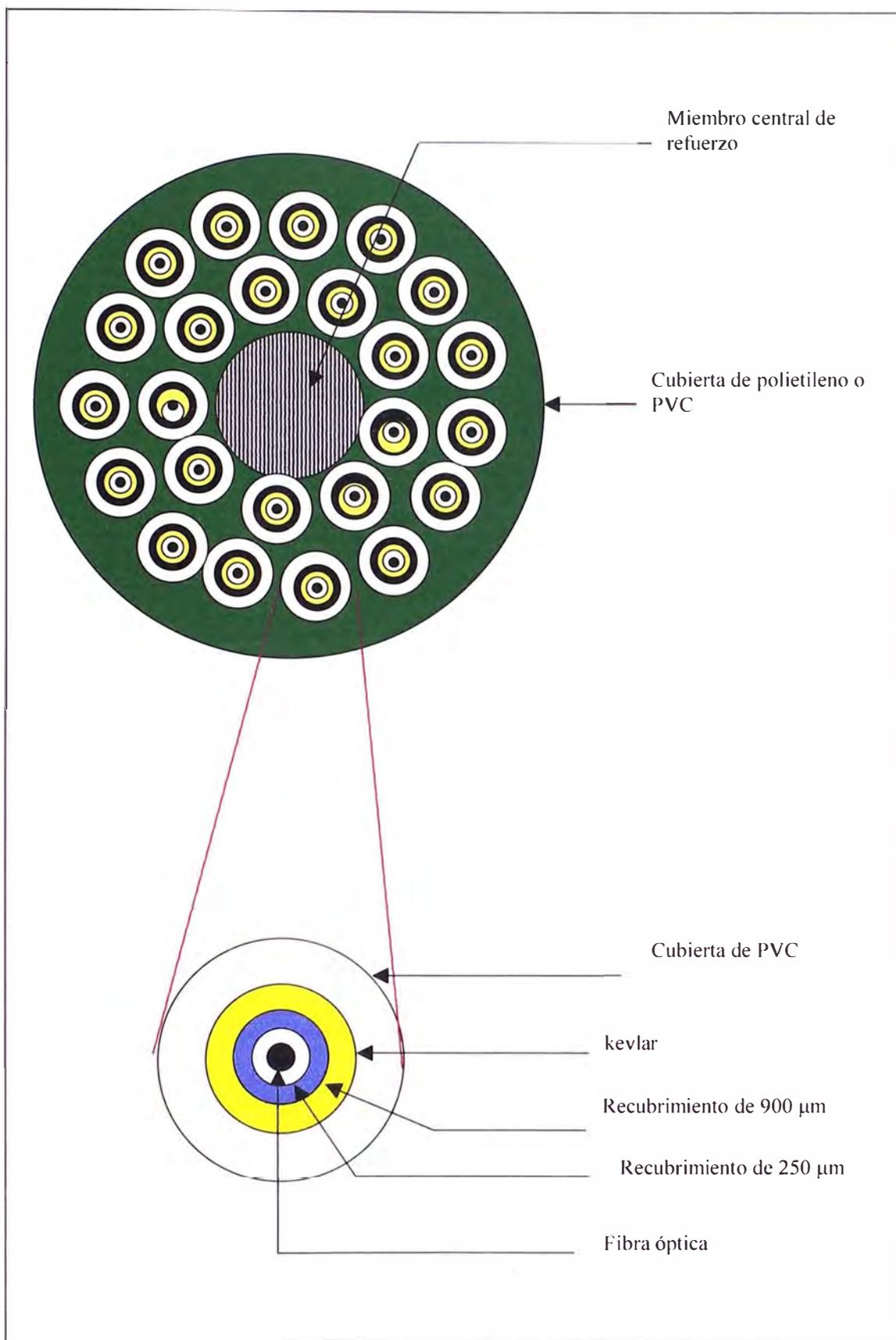
**Fig 1.11 Cable de estructura holgada**



**Fig 1.12** Cable de estructura apretada



**Fig. 1.13** Cable de estructura tipo cinta



**Fig. 1.14** Cable de estructura breakout

## **CAPITULO II DISPOSITIVOS ÓPTICOS ACTIVOS**

### **2.1 Fuentes ópticas.**

Las fuentes ópticas son las que convierten la señal eléctrica en señal óptica, para ello necesita de un dispositivo que realice la conversión, además de circuitos comunes en un transmisor, como control automático de potencia, circuito de excitación, etc.

Las características que las fuentes ópticas deben cumplir son:

- Anchura espectral estrecha.
- Lóbulo de emisión coherente.

Potencia óptica suficientemente alta.

- Bajo costo
- Dimensiones compatibles con las de la fibra
- linealidad en la característica de conversión
- Emisión compatible con las características de transmisión de la fibra

Los dispositivos usados son los diodos emisores de luz (LED) y los diodos de emisión estimulada(LÁSER) ambos de materiales semiconductores, en el cuadro II.1 de la página siguiente se muestra una tabla comparativa entre las características mas importantes del y del LD.

**CUADRO II.1**  
**TABLA COMPARATIVA DE DISPOSITIVOS EMISORES ÓPTICOS**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DIODO LÁSER (LD)</b>		<b>DIODO EMISOR DE LUZ (LED)</b>	
MATERIAL	ALGaAs	InGaAsP	ALGaAs	InGaAsP
Longitud de Onda (nm)	800 - 900	1200 - 1600	800 - 900	1100 - 1600
Potencia Óptica de Salida (mW)	5 ~ 25	3 ~ 40	1~3	≈ 1
Atenuación de Acoplamiento (dB)	3 ~ 5	3 ~ 5	15 ~ 20	15 ~ 20
Ancho espectral (nm)	2 ~ 3	2 ~ 3	25 ~ 50	50 ~ 160
Velocidad de modulación (Mhz)	3000	3000	50 - 100	30
Rango de Temperatura	0 ~ 50		0 ~ 80	
Modulación Adaptable	Digital	Digital	Digital, Analógico	Digital, Analógico
Tiempo de vida	10 <sup>5</sup> horas	10 <sup>5</sup> horas	10 <sup>9</sup> horas	10 <sup>9</sup> horas
Aplicación	Sistema de larga distancia y gran capacidad de Transmisión		Sistema de corta distancia y baja capacidad de Transmisión	

## 2.2. Detectores ópticos.

Los detectores ópticos son las que convierten la señal óptica en señal eléctrica, para ello necesita de un dispositivo que realice la conversión, además de circuitos comunes en un receptor, como control automático de ganancia, circuito de excitación, etc.

Las características que las fuentes ópticas deben cumplir son:

- Alta sensibilidad en el rango espectral de operación.
- Alta apertura numérica
- Reducido tiempo de respuesta.
- Mínimo ruido.
- Bajo costo
- Dimensiones compatibles con las de la fibra
- Estabilidad en las características de funcionamiento
- Largo tiempo de vida.

Los dispositivos usados son los diodos con semiconductor intrínseco(PIN) y los diodos de avalancha (APD) ambos de materiales semiconductores.

**CUADRO II.2**  
**TABLA DE COMPARACIÓN DE DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN ÓPTICA**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PIN</b>	<b>APD 1ª Ventana</b>	<b>APD 2ª y 3ª ventanas</b>
MATERIAL	Silicio	Silicio	Germanio
RANGO ESPECTRAL (nm)	600 ~ 900	600 ~ 900	1000 ~ 1550
EFICIENCIA CUÁNTICA (%)	70	70	60
EFICIENCIA DE ACOPLAMIENTO(%)	95	95	95
ANCHO DE BANDA (Mhz)	100	1000	1000
VOLTAJE DE POLARIZACIÓN (V)	100 ~ 150	5 ~ 20	25 ~ 30
TIEMPO DE VIDA (horas)	$> 10^7$	$> 10^7$	$> 10^7$
APLICACIÓN	detección simple	detección de alta sensibilidad	Sistema de transmisión de gran longitud

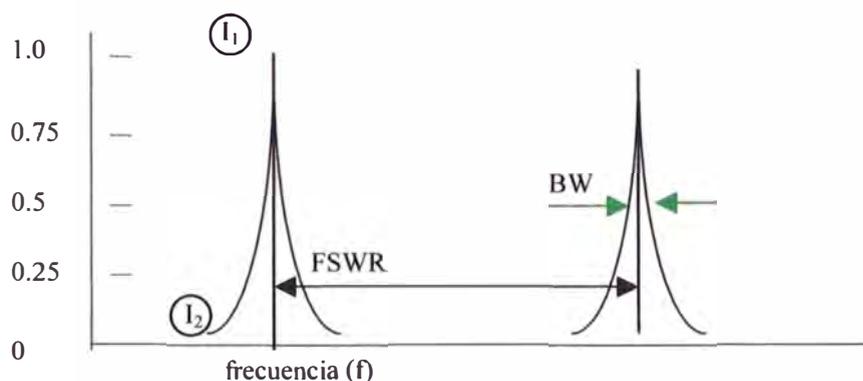
### 2.3 Filtros ópticos semiconductores

Los filtros ópticos son dispositivos empleados para eliminar señales de longitudes de onda no deseadas; se emplean en redes de fibra óptica con WDM, también en Redes submarinas, los filtros mas conocidos son el filtro Fabry - Perot y el Filtro Mach – zender.

Los filtros interferométricos basados en la cavidad Fabry - Perot proporcionan una gran resolución y se pueden fabricar en forma compacta y a bajo precio. Comercialmente estos filtros tienen como espejos las dos caras de una fibra óptica

con material reflectante, la sintonización se consigue con la compresión / expansión piezoeléctrica de la fibra.

### DEFINICIONES DE CARACTERÍSTICAS FABRY - PEROT



**Fig. 2.1** Espectro de frecuencias en un Filtro Fabry - Perot

En la figura 2.1 se presenta el gráfico del espectro de frecuencias en un filtro Fabry - Perot, de ahí se definen los siguientes parámetros:

FSWR : rango espectral libre, margen de actuación del filtro, es el intervalo entre dos máximos.

BW: Ancho de Banda, es el intervalo al rededor de un máximo, de longitudes de onda, cuando  $I(f)$  es  $\frac{1}{2}$ .

$I(f)$ ; es la relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida en función de la frecuencia.

## 2.4 Amplificadores ópticos semiconductores

En los inicios de las Redes de Fibra Óptica se utilizaban los repetidores ópticos, que consistía en convertir la señal óptica en señal eléctrica, regenerarla, y volver a convertirla en señal óptica para retransmitirla, esto hacía el sistema costoso y complicado, con la introducción de los amplificadores ópticos se elimina la necesidad de reconvertir la señal, también se usa en WDM, debido a que cuando se multiplexa la señal se atenúa, los amplificadores ópticos semiconductores son empleados generalmente en preamplificadores, o en receptores.

Existen dos tipos principales:

**Amplificador Fabry Perot (FPA)**, la reflectividad de las caras es del 30%. La potencia óptica se amplifica después de varias pasadas. Se polariza por debajo del umbral típico del efecto láser. La que entra por una cara aparece en la otra amplificada junto con un ruido inherente. El efecto de filtrado que puede ser muy útil en algunas aplicaciones, hace que el dispositivo sea muy sensible a fluctuaciones de corriente de polarización, temperatura, y estado de polarización de la luz.

**Amplificador de Onda Progresiva (TWLA)**, idealmente la reflectividad es cero. La amplificación se realiza en una única pasada. Típicamente la reflectividad puede ser del orden de  $10e^{-4}$  (nearly travelling Wave: NTWA). Se reducen las amplitudes de las resonancias, con esto se consigue incrementar substancialmente el ancho de banda espectral y el amplificador resultante es menos sensible que el FPA a variaciones de parámetros.

## **CAPITULO III DISPOSITIVOS ÓPTICOS PASIVOS**

### **3.1. Aisladores ópticos**

Un aislador óptico es un dispositivo que transmite luz en una sola dirección; se emplean fundamentalmente para evitar que las reflexiones que se produzcan en el enlace puedan volver hacia la fuente óptica.

Como elemento esencial de un aislador óptico tenemos un dispositivo rotador de Faraday; la densidad de flujo magnético aplicada al rotador de Faraday es ajustada de forma que la polarización se rote en  $45^\circ$ .

En la lámina que se muestra en la página siguiente, la luz incidente atraviesa un polarizador A, al pasar por el rotador de Faraday rota  $45^\circ$  y es transmitida a través del polarizador B, la luz reflejada atraviesa el polarizador B polarizada en  $45^\circ$ , el rotador de Faraday la rotará  $45^\circ$  más, por lo que el polarizador A la bloqueará. En la figura 3.1 se muestra el funcionamiento del rotador en un aislador.

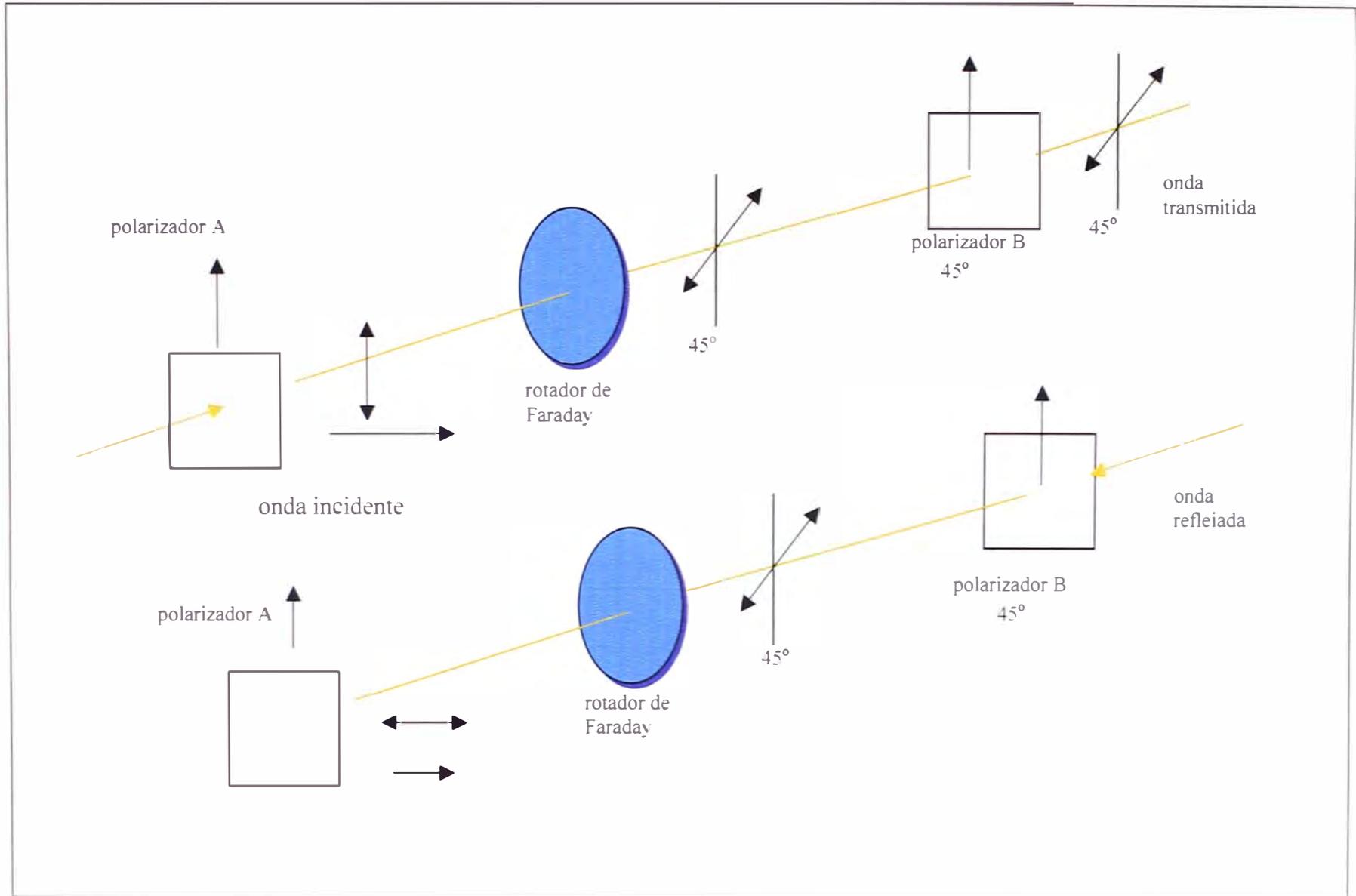


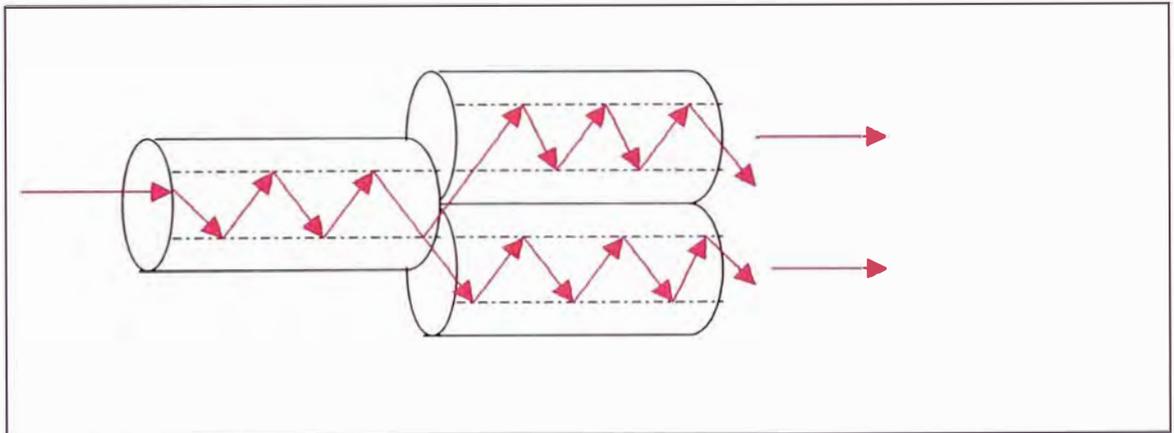
Fig. 3.1 Aislador con rotador de Faraday

### 3.2 Acopladores ópticos

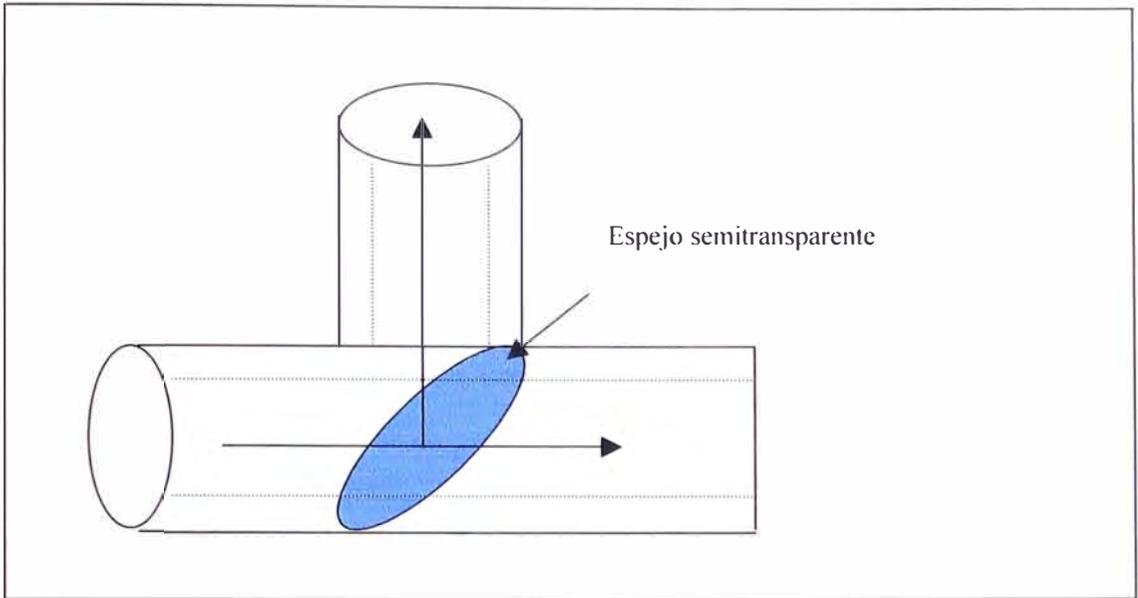
Un acoplador óptico es un dispositivo que distribuye luz desde una fibra principal a varias fibras de salida. Su utilidad puede encontrarse en que dividen o combinan señales ópticas con aplicación a sistemas de distribución: bus, LAN, redes de ordenadores y redes de acceso de telecomunicaciones. Son básicamente dos tipos:

- ⇒ interacción de núcleos de fibra.
- ⇒ Interacción a través de superficie

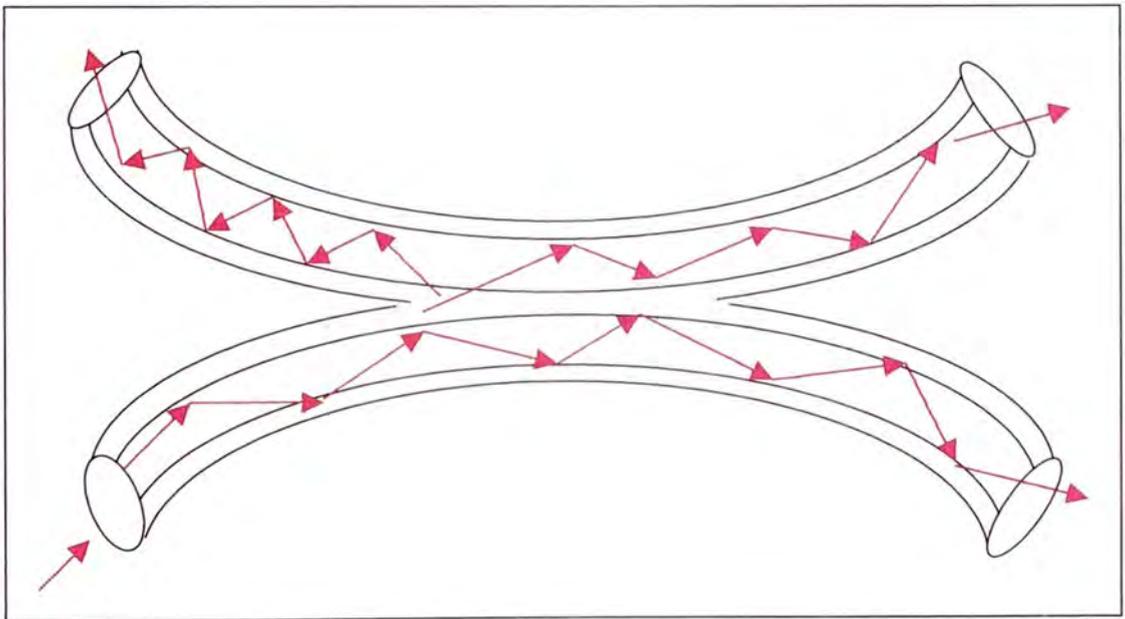
En figuras siguientes se ilustran los distintos tipos de acopladores.



**Fig.3.2 Acoplador de desplazamiento lateral**



**Fig.3.3 Acoplador de espejo divisor semitransparente**



**Fig.3.4 Acoplador por fibras fundidas de aproximación bicónica**

### 3.3 Multiplexores y demultiplexores ópticos

El multiplexor óptico acopla señales de distintas fuentes ópticas a una sola fibra óptica de transmisión, el demultiplexor separa múltiples señales ópticas que viajan por una sola fibra repartiéndolas en un de fibras igual al número de señales entrantes.

La técnica usual es la de dispersión angular, se usa la lente GRIN (Graded INdex) que tiene la curva de variación del índice de refracción con respecto a la longitud de onda con una pendiente adecuada para lograr el fenómeno.

Los parámetros característicos más importantes son:

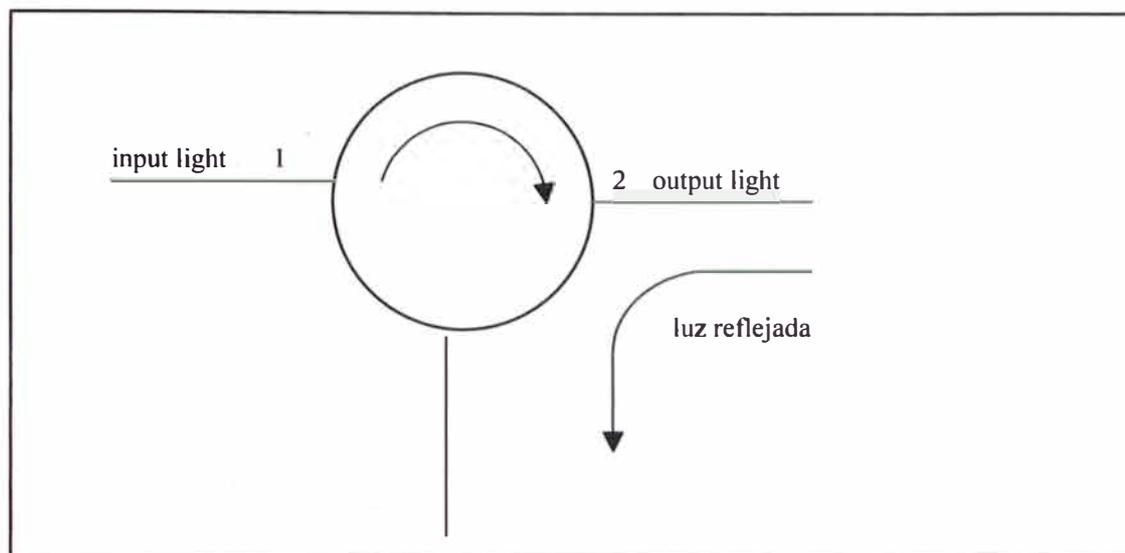
- **Pérdidas de inserción.** Es la atenuación de la señal entre el puerto de entrada y el puerto de salida correspondiente.
- **Crosstalk.** Es la atenuación de una señal determinada medida en un puerto que no es el que le corresponde.

También existen multiplexores con acopladores, y demultiplexores con acopladores y filtros.

### 3.4 Circuladores Ópticos

Un circulador óptico es un dispositivo de 3 entradas o mas, el cual permite que la señal que ingresa por una de ellas salga por la contigua en dirección horaria, se

utiliza con reflectores de Bragg para construir dispositivos Add and Drop. En la figura 3.5 se muestra la configuración básica de un circulador óptico.



**Fig. 3.5 Esquema básico de un circulador**

### 3.5 Compensadores de dispersión cromática

Por lo tratado en los capítulos anteriores, el problema de la limitación de ancho de banda, condujo a la construcción de fibras de dispersión desplazada, sin embargo debido a la gran cantidad de fibra monomodo convencional ya instalada, el problema debe resolverse utilizando compensadores de dispersión, existen compensadores de fibra, y compensadores de grátula de Bragg.

El compensador de fibra, utiliza un tramo de fibra de dispersión negativa cada longitud para mantener una cierta dispersión cromática acumulada, la dispersión cromática de la fibra de compensación está entre -60 y -80 ps/nm/Km; la relación para calcular la longitud de la fibra de compensación es:

$D_F \cdot L_F + D_{DCF} \cdot L_{DCF} = 0$ , donde:

$D_F$  = dispersión cromática de la fibra convencional

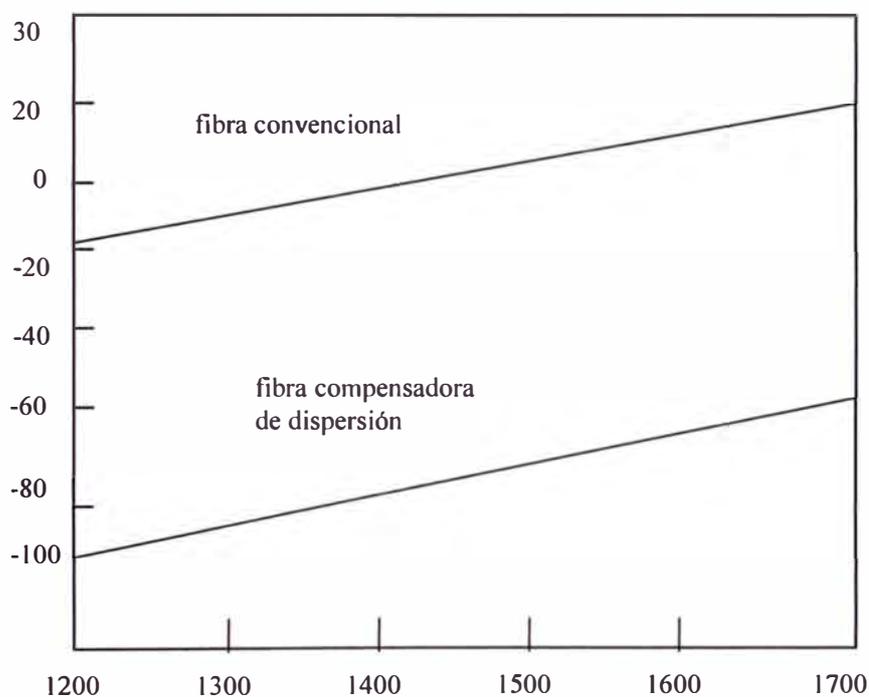
$L_F$  = longitud de la fibra convencional

$D_{DCF}$  = dispersión cromática de la fibra de compensación

$L_{DCF}$  = longitud de la fibra de compensación

Factor de mérito =  $|D_{DCF}| / \alpha_{DCF}$  (ps/nm/dB)

$\alpha_{DCF} = 0.5$  dB/Km.



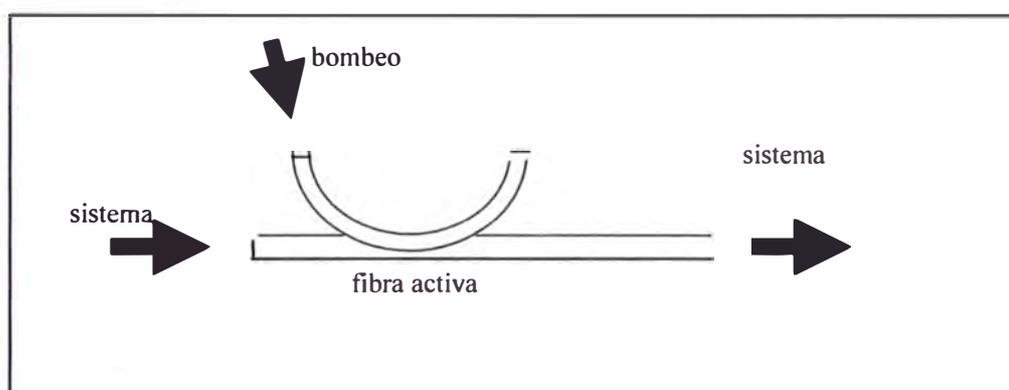
**Fig. 3.6 Comparación de las curvas de dispersión cromática**

### 3.6 Filtros ópticos pasivos

Así como los filtros ópticos activos ya vistos, estos filtros dejan pasar una determinada longitud de onda, y se construyen de arreglos de dispositivos pasivos como por ejemplo reflectores de Bragg.

### 3.7 Amplificadores de fibra dopada

Son amplificadores mas robustos desde el punto de vista de influencia por variación de parámetros que los amplificadores semiconductores, un esquema típico es el que aparece en la figura.



**Fig. 3.3** Esquema de un amplificador de fibra

El acoplador debe tener bajas pérdidas de inserción.

Existen dos tipos de amplificadores de fibra:

- basados en fibras dopadas con tierras raras (Erbio,  $\text{Er}^{3+}$ ).

- Basados en efectos no lineales: Raman o Brillouin.

### **Características típicas de amplificadores de fibra dopada**

- Ganancias elevadas: 30 - 40 dB (con potencias de bombeo de 50 a 100 mW).
- Longitudes de onda típicas : 980 nm y 1480 nm.
- Longitud de fibra típica: 1 - 100 m.
- Anchos de banda: al rededor de 40 nm.
- Amplificadores para tercera ventana de transmisión (1500 nm a 1600 nm).
- Factor de ruido típico entre 5 y 7.

En el cuadro III.1 se muestra la comparación entre el amplificador óptico de fibra y el amplificador óptico semiconductor.

### **Principios de funcionamiento**

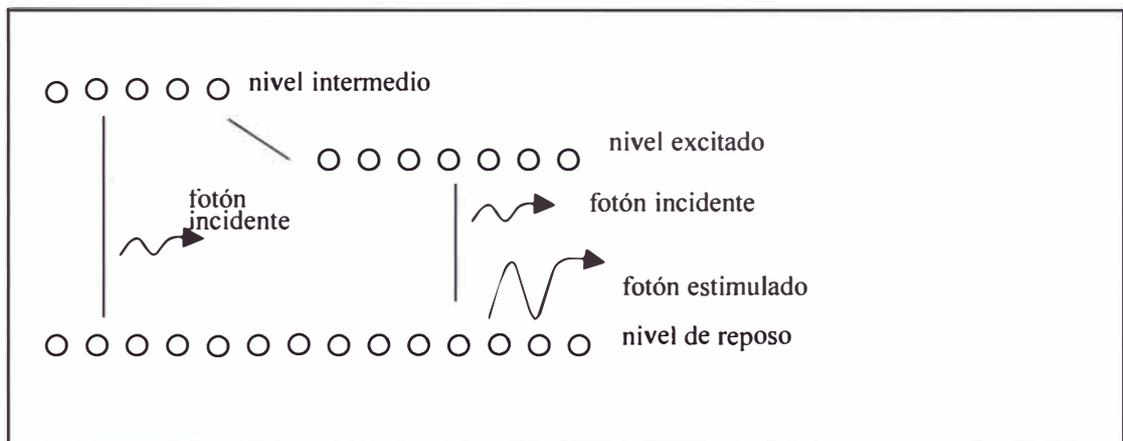
Un amplificador de fibra óptica es un dispositivo es un dispositivo con ganancia de potencia óptica mediante el efecto LÁSER. Es decir, utiliza el fenómeno de emisión estimulada para amplificar. Las condiciones necesarias para que se produzca dicha amplificación son:

- a) Un material cuyos átomos tengan los adecuados niveles energéticos de sus electrones para que se produzca la emisión estimulada de fotones a la longitud de

onda a la que se quiere amplificar (ventana 1550 nm). En un amplificador de fibra óptica esto se consigue dopando la fibra de silicio con erbio.

- b) Un bombeo para crear la inversión de población capaz de generar la amplificación por emisión estimulada. En un amplificador de fibra óptica esto se consigue mediante un bombeo óptico a la longitud de onda de 980 nm. o 1480 nm.

El proceso de conversión de energía del láser de bombeo en energía idéntica a la que se quiere amplificar (fotones en la ventana de 1550 nm) está indicado en la siguiente figura.



**Fig. 3.4 Descripción de la emisión estimulada en un Amplificador de fibra óptica**

Los átomos de Erblio absorben los fotones de bombeo y sus fotones pueden pasar del nivel de reposo, cuya concentración antes del bombeo óptico es elevada, a un nivel intermedio de energía desde donde rápidamente decaen hacia el nivel excitado donde permanecen un tiempo relativamente alto (comparado con el tiempo

de permanencia en el nivel intermedio), de esta forma se consigue la inversión de población entre los niveles excitado y de reposo, es decir, mayor concentración de electrones en el nivel excitado (población) que en el nivel de reposo (despoblación); la diferencia energética entre dichos niveles es igual a la energía del fotón de la señal óptica incidente a amplificar (ventana de 1550 nm.).

Debido al fenómeno de emisión estimulada, un fotón incidente estimula la creación de otro fotón idéntico mediante la energía cedida por un electrón que cae del nivel excitado al nivel de reposo. Este efecto se repite muchas veces a lo largo de la fibra dopada con lo cual se consigue la amplificación de la señal óptica incidente.

**CUADRO III.1**  
**COMPARACIÓN ENTRE AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE FIBRA (OFA) Y AMPLIFICADORES ÓPTICOS SEMICONDUCTORES**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>OFA</b>	<b>SOA</b>
Ganancia interna en dB	30 - 50	28 - 36
Máxima potencia de salida en dBm	10 - 30	8 - 15
Figura de ruido en dB	3 - 5	5 - 8
Pérdidas de inserción en dB	0 - 1	5 - 6
Ancho de banda en nm	30 - 40	30 - 60
Selección de región espectral	limitada	amplia
Sensibilidad de polarización	mínima	marcada
Dinámica de ganancia	lenta	rápida
Confiabilidad	alta	aceptable

## **CAPITULO IV DISPOSITIVOS ÓPTICOS DE INTERCONEXIÓN**

### **4.1 Generalidades**

Los dispositivos ópticos de interconexión son aquellos que permiten dar continuidad a una fibra con la mínima pérdida de potencia óptica.

#### **Requerimientos para las interconexiones de fibras**

- Mínima atenuación de inserción.
- Facilidad de instalación.
- Repetibilidad.
- Estabilidad con las variaciones ambientales.
- Reducido tamaño y peso.
- Economía.

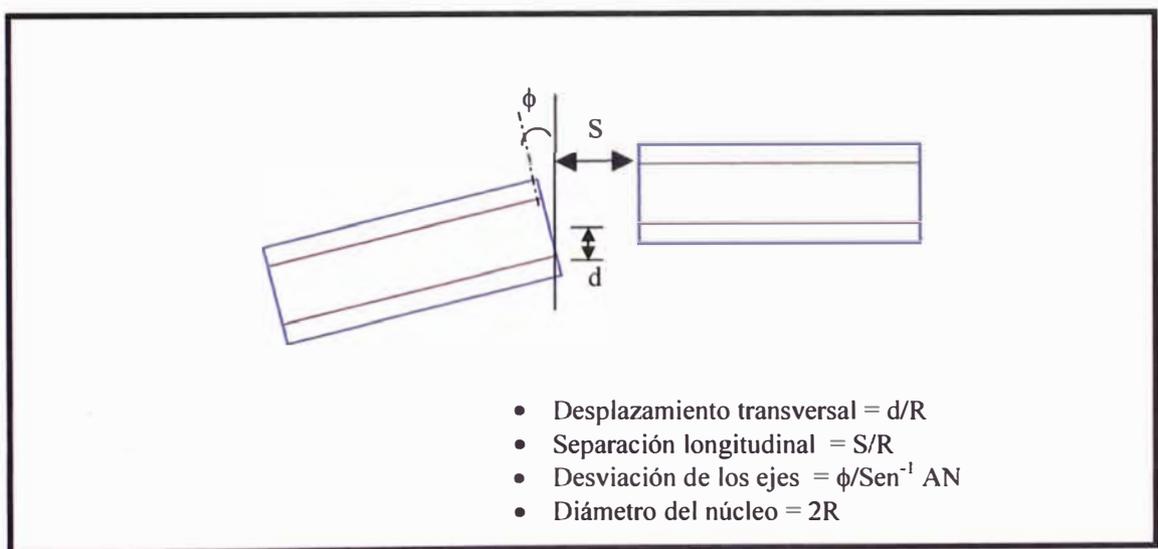
#### **Factores de pérdidas en una interconexión.**

Estos factores pueden ser extrínsecos o intrínsecos. Los factores extrínsecos están relacionados con la técnica y la forma de llevar a cabo la interconexión (ver

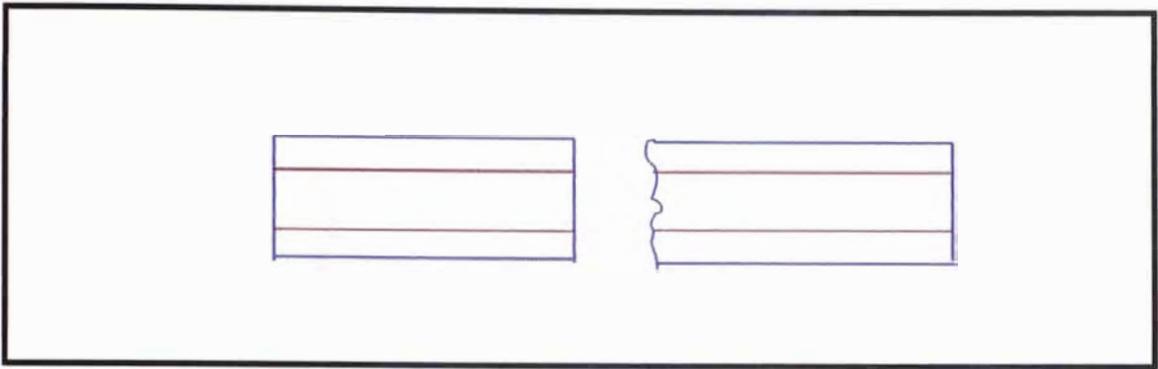
figs. 4.1, 4.2, 4.3). Los factores intrínsecos están relacionados a las propiedades de las fibras a unir

### Factores de pérdidas extrínsecos

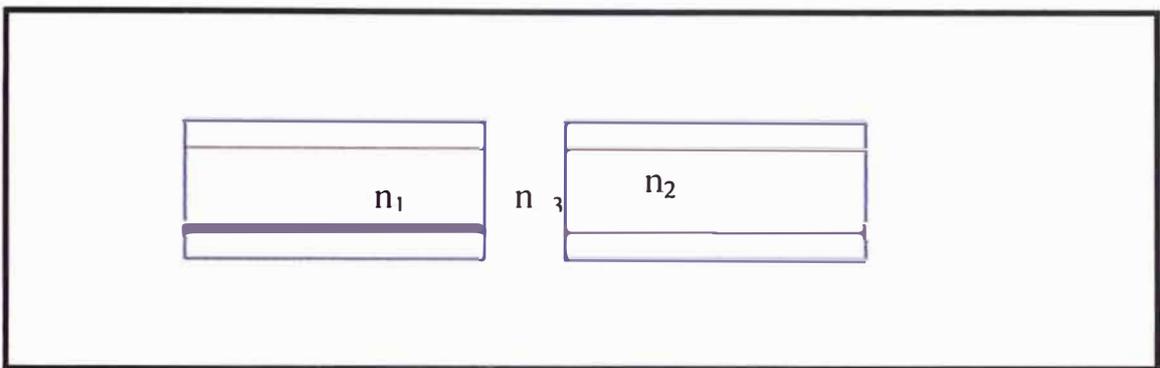
- Desplazamiento transversal.
- Desplazamiento longitudinal
- Desviación de los ejes
- Calidad de los extremos de fibras
- Reflexiones de fibras.
- Macrocurvaturas



**Fig. 4.1 desplazamientos**



**Fig. 4.2 Calidad de los extremos de fibras**



**Fig. 4.3 Reflexiones de Fresnel**

### Factores de pérdida intrínsecos

- Variación del diámetro de la fibra (núcleo y revestimiento).
- Desadaptación.
- Elipticidad y concentricidad de la fibra.
- Macrocurvaturas

## **4.2 Empalmes de fibras ópticas**

Es la unión permanente entre dos fibras, es utilizado principalmente en enlaces cuya longitud supera a la longitud suministrada de la fibra, y donde no hay requerimientos de conexiones y desconexiones repetitivas.

### **Técnicas de empalme**

Las técnicas de empalme puede clasificarse en tres categorías; estas son:

- Método de fusión, las fibras se empalman por calentamiento localizado hasta su punto de fusión, conformando un hilo continuo, su atenuación es menor a 0.1 dB.
- Método mecánico, se utilizan métodos para alinear las fibras y fijarlas mecánicamente, se utiliza un material igualador de índice de refracción para evitar pérdidas reflectivas grandes, su atenuación puede estar entre 0.1 y 0.2 dB.
- Método de unión adhesiva, su fijación es a través de adhesivos vulcanizados, su atenuación es menor a 0.1 dB.

## **4.3 Conectores de fibra óptica**

Los conectores son usados en uniones removibles entre fibras ópticas, o en la conexión entre la fibra óptica y el transmisor óptico o el receptor óptico.

## **Técnicas de Conectorización**

Existen muchas técnicas de conectorización, las que han ido desarrollándose a través de los años, para mejorar su funcionamiento tanto cómo la rapidez y facilidad de montaje, los mas comunes se mencionan a continuación.

- Aplicación de epóxico con curado térmico
- Aplicación de adhesivo con curado ultravioleta
- Conectores sin epóxica
- Conectores con fibra embutida

## **Tipos de conectores**

a) Conector de ferrule cilíndrico.

- ST (Straight Tip)
- SMA (Subminiature Assembly)
- MIC (Medium Interface Connector)
- FC (Fiber Conector)
- SC (Subscriber Conector)
- PC (Physical Contact)

b) Conectores de Ferrule bicónico.

c) Conector de doble excéntrica.

d) conector de fibra múltiple.

## **CAPITULO V TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA**

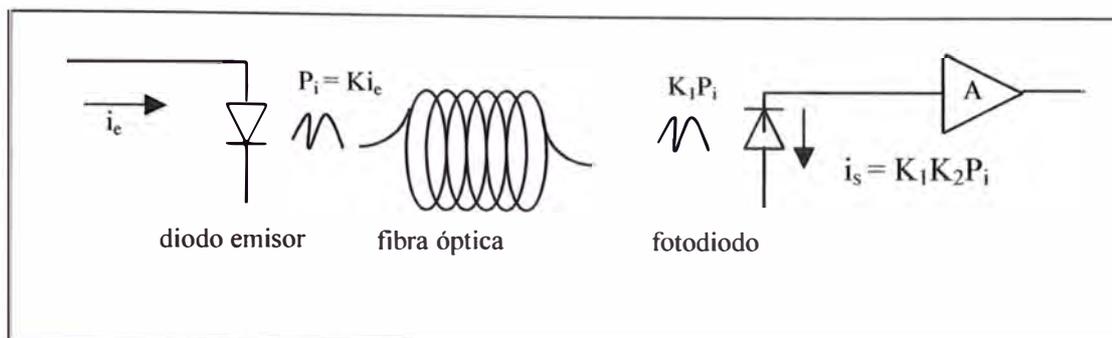
Para transmitir información a través de un sistema de comunicaciones por fibra óptica es necesario modular una propiedad de la portadora óptica con la señal de información. Esta propiedad puede ser la intensidad, fase, frecuencia o polarización de la luz.

La modulación en fase, frecuencia, o polarización, están en proceso de investigación, por lo que el tipo de modulación aplicado en las comunicaciones ópticas es el de la modulación de intensidad.

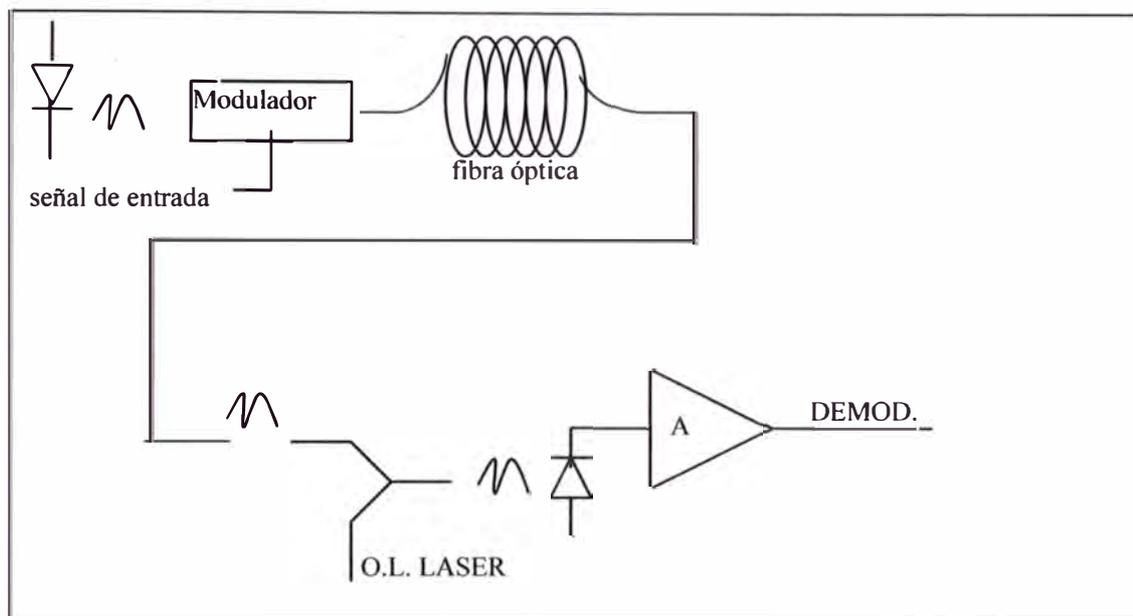
En el extremo receptor deberá realizarse la detección de la señal modulada, la cual en caso de modulación de intensidad se realiza por detección directa, y para la modulación en amplitud, fase, frecuencia, o polarización la detección será homodina o heterodina.

Los sistemas actuales de transmisión óptica son de modulación de intensidad y detección directa.

En las figuras 5.1, y 5.2 se muestran los tipos de técnicas de transmisión.



**Fig. 5.1 Modulación de intensidad y detección directa**



**Fig. 5.2 Modulación externa detección heterodina**

## 5.1 Técnicas de modulación óptica

Existen dos técnicas de modulación óptica y son la modulación directa y la modulación externa; en la modulación directa sólo es posible modular por intensidad, en la modulación externa es posible modular por amplitud, fase, frecuencia y fase. En la figura 5.3 se muestra la modulación de intensidad directa de una señal digital por un diodo laser, como se ve la curva de transferencia del diodo no es lineal, por lo que



- Mayor sensibilidad del receptor (mayor espaciamiento entre repetidoras)
- Selección de esquemas de modulación mas eficientes (mayores velocidades de transmisión).
- Selectividad en frecuencia
- Capacidad de sintonización óptica

Los inconvenientes fundamentales son:

- Requerimiento de ancho de línea.
- Fluctuaciones de la polarización.

### **Características de los Sistemas Coherentes:**

Los Sistemas Coherentes son aquellos que utilizan una técnica de modulación externa, ya sea por fase, frecuencia o amplitud y detección homodina o heterodina, se dice que son coherentes por las características especiales que deben presentar los elementos fotoemisores y fotodetectores.

En la tabla V.1 se presenta el resumen del número de fotones requerido para un BER de  $10^{-9}$  por un receptor ideal con un fotodetector con eficiencia cuántica unidad, y en la tabla V.2 se presenta un análisis del performance de receptores ópticos.

**CUADRO V.1**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS COHERENTES**

Modulación	Número de fotones			
	Homodina	Heterodina		Detección directa
		Detección sincrónica	Detección Asincrónica	
On - off keying (OOK)	18	36	40	10
Phase - Shift Keying (PSK)	9	18	20	—
Frequency-shift keying (FSK)	—	36	40	—

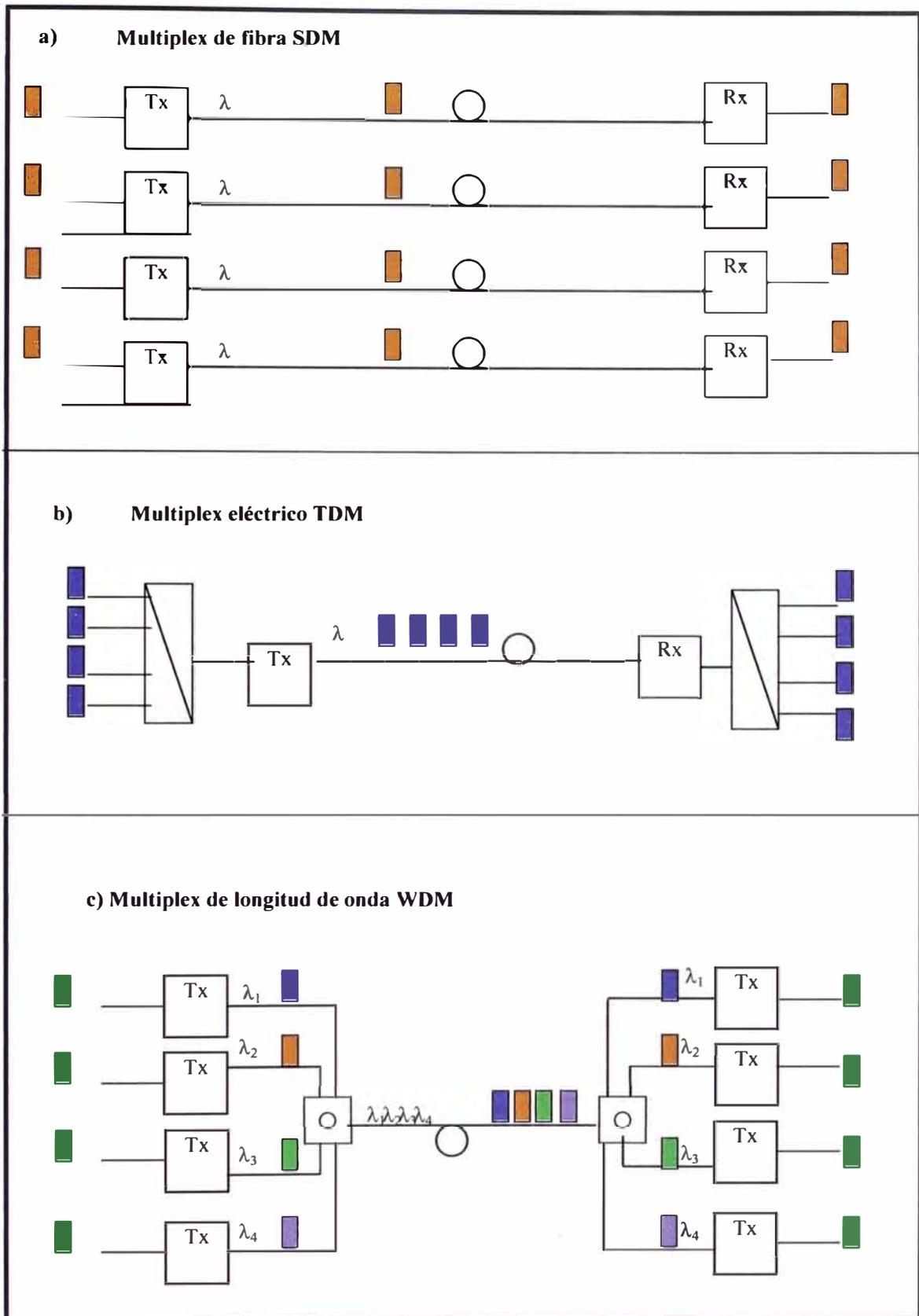
**TABLA V.2**  
**ANÁLISIS DEL PERFORMANCE DE RECEPTORES**

Ítem.	Velocidad (Mb/s)	Longitud de onda (nm)	Sensibilidad N° medio fotones//bit	Modulación	Receptor
1.	15	810	108	4-PPM	APD-FET
2.	30	810	80	4-PPM	APD-FET
3.	60	810	68	4-PPM	APD-FET
4.	110	830	37	4-FSK	Heterodino
5.	120	810	71	4-PPM	APD-FET
6.	140	1320	25	PSK	Homodino
7.	140	1542	119	FSK	Heterodino
8.	200	1530	74	FSK	Heterodino
9.	325	820	110	OOK	APD-trans-Z
10.	400	1530	45	DPSK	Heterodino
11.	560	1540	78	DPSK	Heterodino
12.	565	1064	20	PSK	Homodino
13.	622	1297	155	OOK	APD-HEMT
14.	622	1537	152	ASK	Preamp
15.	1000	1500	46	PSK	Homodino
16.	1000	1310	1162	OOK	APD-FET
17.	1240	1533	156	ASKv	Preamp
18.	2000	1540	705	OOK	APD-FET
19.	2500	1530	137	ASK	Preamp
20.	2500	1554	66	CPFSK	Heterodino
21.	3000	1532	62	DPSK	Preamp
22.	4000	1528	209	DPSK	Heterodino
23.	4000	1528	175	ASK	Heterodino
24.	4000	1528	191	FSK	Heterodino
25.	4000	1508	72	PSK	Homodino
26.	5000	1550	93	PSK	Homodino
27.	5000	1534	135	ASK	Preamp
28.	10000	1530	139	ASK	Preamp
29.	10000	1536	112	ASK	Preamp
30.	10000	1550	297	PSK	Homodino
31.	10000	1530	3000	OOK-RZ	APD-FET
32.	20000	1552	1600	ASK	Preamp

### 5.3 Técnicas de multiplexación en comunicaciones ópticas

Existen tres técnicas de multiplexación en comunicaciones ópticas, la primera es utilizando una previa multiplexación eléctrica, la que aprovecha la gran capacidad de transmisión de la fibra en una sola portadora óptica; la necesidad de mayores capacidades hizo que se utilizara varias fibras para transmitir la cantidad total de canales requeridos, lo que se le conoce como multiplexación de fibra o multiplexación espacial; la multiplexación espacial a su vez provocó que los cables de fibra óptica se fabriquen cada vez con mayor número de fibras; con la multiplexación de longitud de onda se puede transmitir en una sola fibra cada vez mayor cantidad de canales por una sola fibra, se le conoce como WDM (Wavelength Division Multiplexing), cuando la separación es menor a 1 nm se le conoce como DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), si es mas pequeña se le conoce como OFDM (Optical Frequency Division Multiplexing). Muchos sistemas utilizan la multiplexación eléctrica previa a la multiplexación óptica y luego multiplexar espacialmente por fibra.

En la figura 5.5 se muestra los esquemas de la configuración de los distintas técnicas de multiplexación.



**Fig. 5.5** Técnicas de Multiplexación en comunicaciones ópticas

#### **5.4 Esquema de la nueva tecnología de redes ópticas**

La evolución de la tecnología de comunicaciones ópticas ha generado que en la actualidad no se hable ya sólo de sistemas de transmisión por fibra óptica, si no de redes ópticas con multiplexores add and drop, conmutadores, y otros dispositivos que hacen posible el manejo de redes en plataforma óptica, en la figura 5.6 se muestra un esquema de la nueva tecnologías de redes ópticas.

En el esquema se muestra un anillo compuesto por cuatro multiplexores add and drop, en los que se observa que los canales a nivel de portadores ópticos pueden ser extraídos o insertados, en algunos casos en que se inserte una longitud de onda ya ocupada, el equipo tiene capacidad de realizar una conversión de longitud de onda; también se muestra un cross conect óptico el que es parte de una configuración estrella que mediante otro cross conect se interconecta con el anillo, este equipo tiene la capacidad de enrutar una longitud de onda de una fibra de entrada a cualquier otra fibra, si la fibra de salida tiene la longitud de onda ocupada, hará la conversión de longitud de onda.

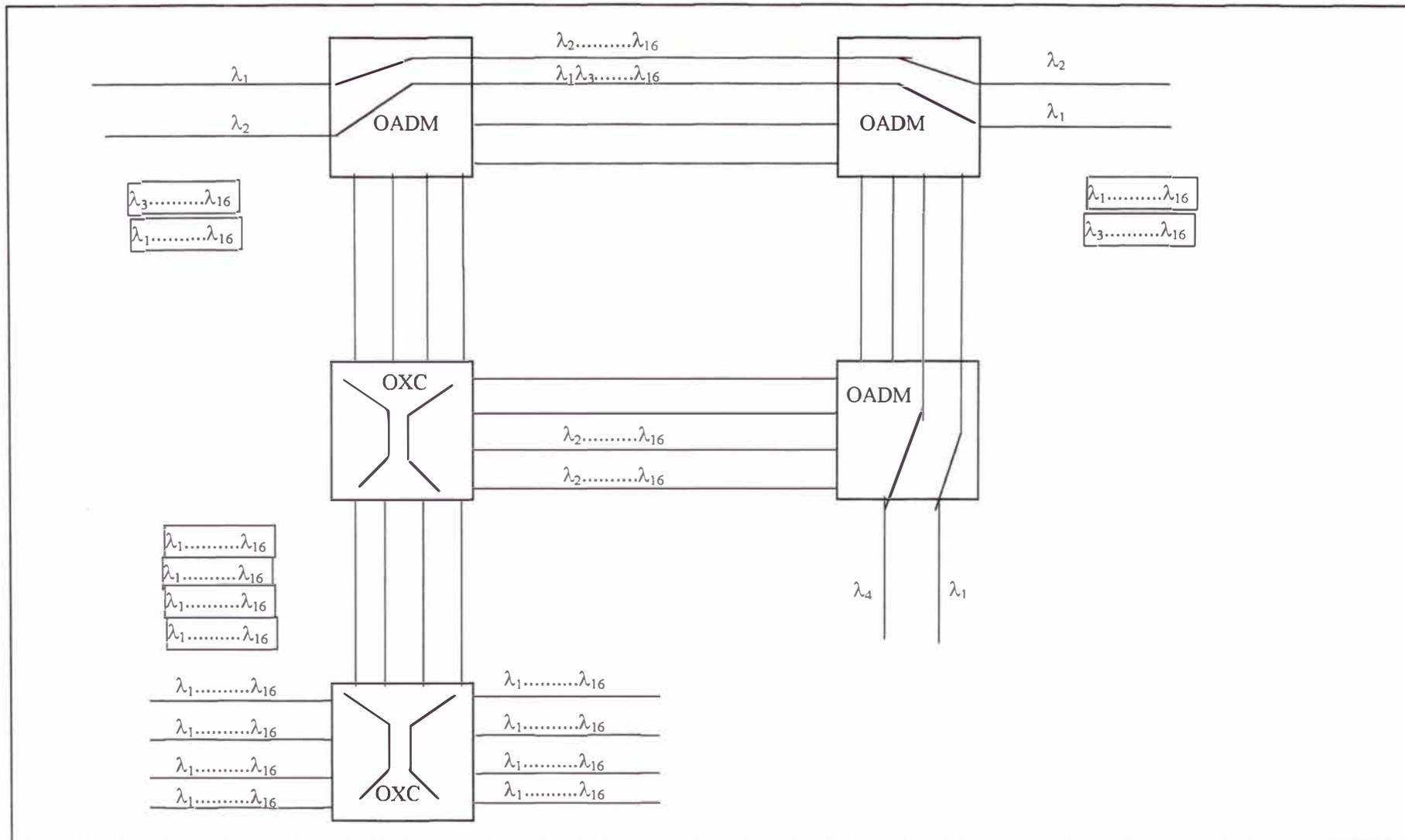


Fig. 5.6 Esquema de una red óptica

## **CAPITULO VI SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL**

La multiplexación eléctrica está basada en dos técnicas , la jerarquía digital plesiócrona, y la jerarquía digital síncrona, la jerarquía digital plesiócrona o PDH fue la primera en ser utilizada, pero tiene entre sus inconvenientes, la dificultad de extraer o insertar canales de una jerarquía que no sea la inmediata superior, son sistemas propietarios, complicado poder interconectar dos equipos de distinto fabricante, etc. Con la creación de la Jerarquía digital síncrona o SDH se vuelve mas flexible la red, y mucho mas sencilla su operación y mantenimiento, además es posible su interconexión con sistemas PDH.

### **6.1 Jerarquía digital plesiócrona**

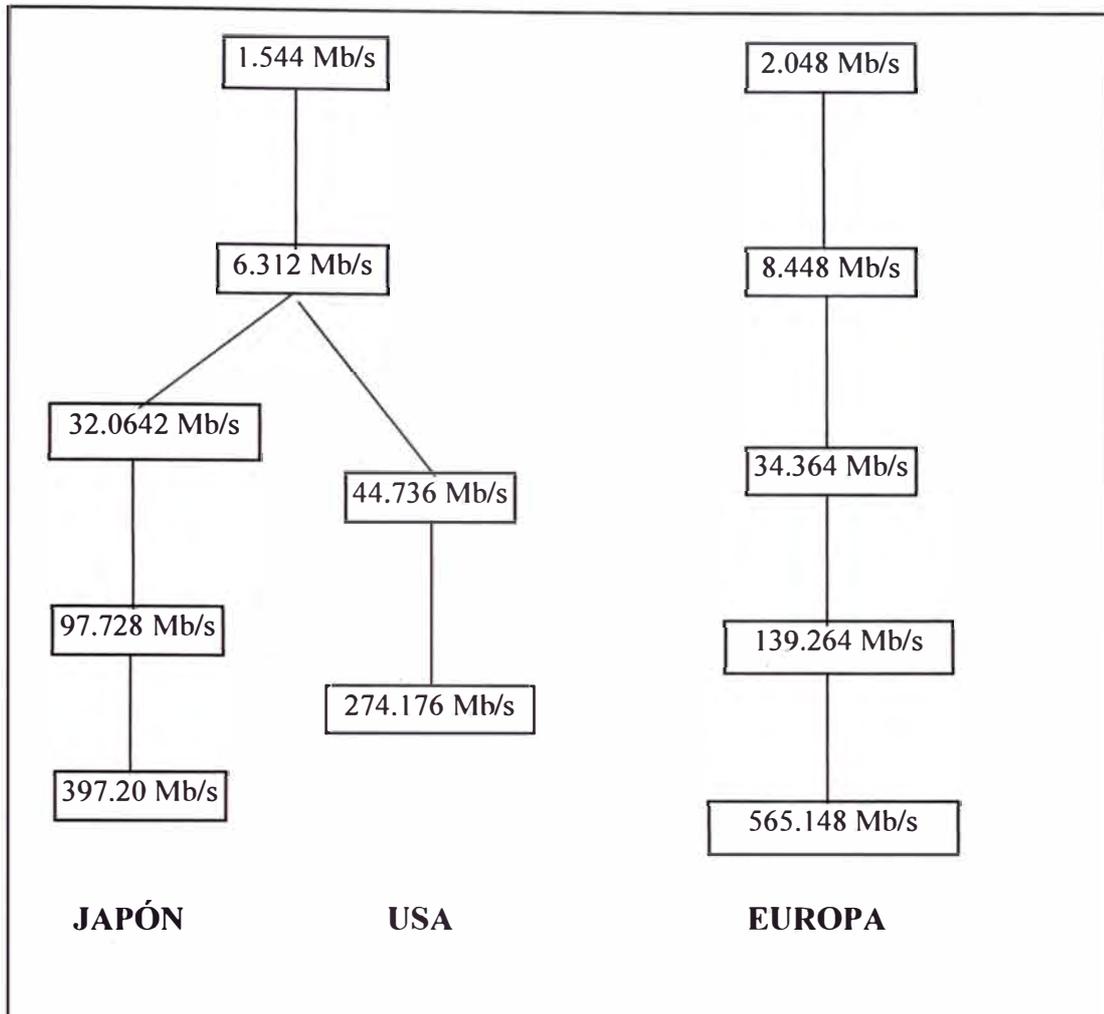
Una señal de voz está compuesta por 8 bits y es muestreada a la frecuencia de 8 KHz o lo que es lo mismo el tiempo de muestreo es de 125  $\mu$ s, de esto resulta un canal básico de 64 Kb/s, la CCITT (hoy UIT) define tres jerarquías. Estas son la jerarquía Europea de 30 canales mas un canal de framing y uno de señalización, formando una señal de 2.048 Mb/s, denominado el formato E-1. La Jerarquía Japonesa y Americana con 24 canales mas un bit de tramado, formando el formato DS-1 con una velocidad total de 1.544 Mb/s.

Las velocidades primarias de los formatos E-1 y DS-1 son obtenidas entonces por multiplexación síncrona de trenes básicos de 64 Kb/s; cada una de estas jerarquías exige en cuanto a sincronización una correcta temporización en ambos extremos para demultiplexar adecuadamente las señales.

La multiplexación PDH consiste en tomar un cierto número de señales DS-1 o E-1 y ponerlas todas juntas, se toma un bit de cada cadena tributaria y es puesto dentro de una cadena de orden mas alto. En cada paso, el multiplexor tiene que tener en cuenta el hecho de que los relojes de las tributarias son todas ligeramente diferentes, de donde proviene el prefijo plesio que significa casi.

### **Desventajas de la PDH**

- La estructura de trama hecha por entrelazamiento de octetos a 64 Kb/s es síncrona, por lo que el empleo de la justificación para adoptar temporización se hace innecesario.
- El entrelazamiento de bits hace que canales de 64 Kb/s pertenecientes a un tramo de tráfico sólo se pueden bifurcar hasta que se demultiplexa a nivel de multiplex primario.
- Los canales de  $n$  64 Kb/s que no se puedan incluir bajo el multiplex primario no se pueden tramitar de ninguna otra forma por la red.
- La información de mantenimiento no está asociada a vías completas de tráfico, sino a enlaces individuales, por la cual el procedimiento de mantenimiento para una vía completa es complicado.



**Fig. 6.1 Jerarquías digitales plesiócronicas**

## 6.2 Jerarquía digital síncrona

Con la conmutación digital, los inconvenientes de los multiplexores PDH fueron haciéndose mas notorios, por lo que era necesario una técnica de multiplexación que permita lo siguiente

- Aprovechar la red totalmente sincronizada.
- Unificar los estándar americanos y europeos.

- Ser usados tanto en fibra óptica como en radio
- Añadir inteligencia a los multiplexores para resolver problemas de operación y mantenimiento, especialmente protección de conmutación.
- Permitir la gestión unificada de redes de distintos fabricantes.
- Ser compatible con los formatos de PDH.

El método de multiplexado que cumple con estas características se llama SDH en Europa y SONET en Norteamérica, nosotros describiremos SDH.

SDH es un estándar internacional para redes de telecomunicación de gran capacidad, es un sistema de transporte síncrono digital diseñado para aportar una infraestructura mas sencilla, económica y flexible para redes de telecomunicaciones.

### **Ventajas de SDH**

- Diseñado para redes de telecomunicaciones flexibles y económicas, basado en multiplexación directa síncrona.
- Aporta una capacidad incorporada de señales para realizar funciones avanzadas de gestión y mantenimiento de la red, casi el 5% de la estructura de las señales es asigna a este fin.
- Aporta flexibles posibilidades de transporte de señales, acepta las señales tanto existentes como futuras.

- Permite disponer de una única infraestructura de red de telecomunicación, permite interconectar equipos de red de distintos fabricantes.
- **Estructura básica de SDH**

La estructura básica de SDH mantiene la constante de tiempo de 125  $\mu$ s, corresponde a una matriz de 9 filas y 270 columnas, cuyos elementos son octetos de 8 bits (1 byte); por lo tanto la trama tendrá 2430 bytes o sea 19940 bits, y como la duración es 125  $\mu$ s, o sea se repite 8000 veces cada segundo, su velocidad binaria será:

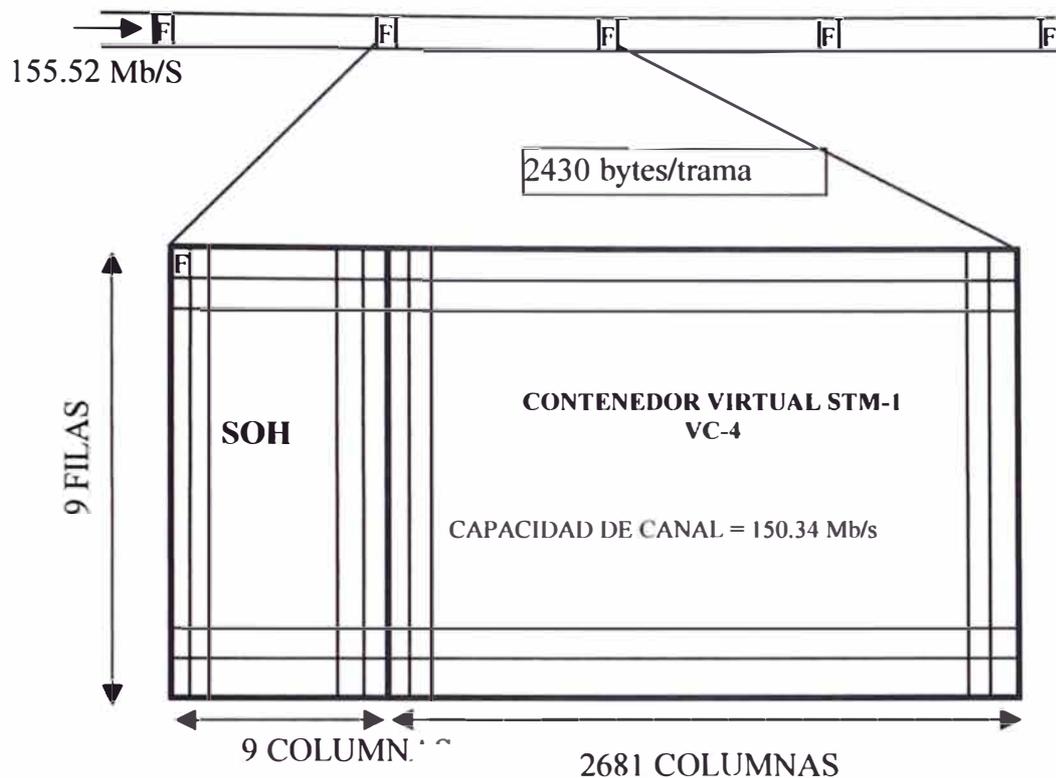
$$19940 \times 8000 = 155520 \text{ Kb/s}$$

Esta trama básica recibe el nombre de STM-1 (Módulo de transporte síncrono de nivel 1).

Toda trama de transporte síncrono consta de dos elementos diferenciados y fácilmente accesibles :

- Cabecera de sección (SOH)
- Contenedor virtual. (VC)

En la figura 6.2 se muestra la estructura básica de la trama STM-1,

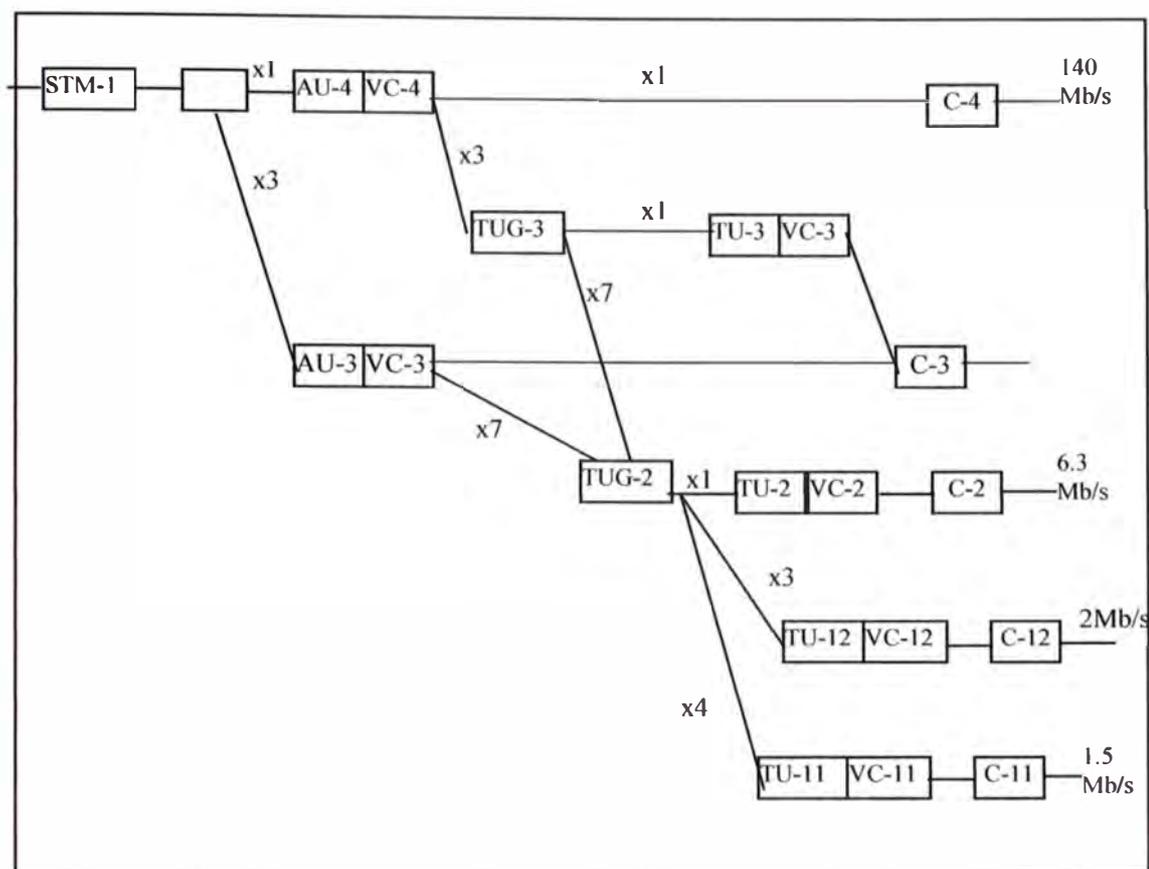


**Fig. 6.2 Estructura básica STM-1**

### **Estructura de Multiplexación**

A continuación se describe el proceso de formación de la trama STM-1 a partir de los diferentes tributarios incluidos en ella.

El CCITT (hoy UIT) ha normado el procedimiento general recogido en la Rec. G.709 y cuya presentación esquemática es la mostrada en la figura 6.3.



**Fig. 6.3 Estructura de Multiplexación CCITT G.709**

El proceso se puede dividir en cuatro fases en el siguiente orden

- a) Cualquier tributario que vayamos a colocar en la trama STM-1 viene generado por un multiplexor de 140, 45,34,6.3,2, o 1.5 Mb/s, luego de un ajuste de las temporizaciones se obtiene un estructura denominada contenedor (C), lógicamente existirán diferentes tipos de contenedores dependiendo del tipo de tributario.
- b) Como cada unidad de carga (C) debe poder ser identificada se le identifica con lo que se denomina cabecera de trayecto (POH) y se añade a un determinado C para obtener lo que conocemos como contenedor virtual (VC).

- c) El VC necesita un indicador de posición dentro de la trama STM-1, a este indicador se le conoce como puntero, cuando añadimos este puntero a un VC obtenemos una unidad tributaria (TU).
  
- d) Se realiza un proceso de multiplexación por entrelazado de Bytes y se obtiene una estructura denominada grupo de unidades tributarias (TUG).

El último paso es dotar a la estructura obtenida de una información adicional que permita su transporte por el medio físico. Esta información es la cabecera de sección (SOH) y que ocupa las 9 primeras columnas de la estructura completa a excepción de la fila 4 cuyas 9 primeras columnas constituyen el puntero de la unidad administrativa.

## **CAPÍTULO VII**

### **LA RED ELÉCTRICA DE ETECEN**

#### **7.1 Análisis de las líneas de transmisión**

La Red Eléctrica de ETECEN en la Unidad de Transmisión Sierra Norte, está conformada por las subestaciones de Tingo María, Huánuco, Paragsha , y Aucayacu. La Unidad de Transmisión Sierra Centro está conformada por las subestaciones de Huayucachi, Pomacocha, Pachachaca, y Huancavelica, y la Central de Mantaro. La Unidad de Transmisión Lima está conformada por las Subestaciones de Zapallal, Ventanilla, Chavarria, Santa Rosa, San Juan, y Callahuanca

La Unidad de Transmisión Sierra Norte, está constituida por una línea longitudinal de un solo circuito de 138 KV. desde la Subestación de Paragsha hasta la Subestación de Aucayacu. La Unidad de Transmisión Sierra Centro lo constituyen las Subestaciones de Pomacocha, Pachachaca y la central de Mantaro conformando un anillo de 220 KV. con doble circuito en las líneas de las Subestaciones a Mantaro, y un sólo circuito en la línea entre Subestaciones; también lo constituyen las líneas de un solo circuito a 220 KV. desde las Subestaciones de Huayucachi y Huancavelica a Mantaro.

La interconexión entre la U.T. Sierra Norte y la U.T. Sierra Centro se realiza por una línea de Transmisión desde Paragsha hasta Pachachaca, a través de la Subestación de Oroya Nueva, donde se realiza la conversión de 220 KV. a 138 KV.

La Interconexión con la U.T. de Lima se realiza a través de cuatro líneas distintas que parten de la U.T. Sierra Centro, la primera de un circuito a 230 KV. desde la S.E. Huayucachi a la S.E. Zapallal, la segunda de dos circuitos a 230 KV. desde la S.E. Pomacocha a la S.E. San Juan, la tercera de un circuito a 230 KV. desde la S.E. Huancavelica a la S.E. Independencia, la cuarta de un circuito a 230 KV. desde la Central de Mantaro a la S.E. Independencia, esta línea de transmisión utiliza la infraestructura de las líneas Mantaro - Huancavelica y Huancavelica - Independencia, por lo que existe doble circuito en estas rutas; existe una quinta ruta por la línea de transmisión entre las Subestaciones de Pachachaca y Callahuanca de doble circuito.

En la U.T. Lima existe una línea de transmisión desde la S.E. Callahuanca a la S.E. Chavarria que no es de propiedad de ETECEN; las demás Subestaciones conforman una Red longitudinal desde la S.E. Ventanilla a la S.E. San Juan. La U.T. Lima se enlaza con la U.T. Norte Medio desde la S.E. Zapallal, y con la U.T. Sur Medio desde la S.E. San Juan.

En la U.T. Sierra Norte, la interrupción de la energía en una de las líneas, significa la interrupción del servicio, y esto a la vez un costo adicional en la instalación de un cable de fibra óptica cuya tecnología haga necesaria el corte de energía; en la U.T. Sierra Centro el sistema interconectado nos permite realizar el corte de energía en una línea, sin interrumpir el normal funcionamiento del Sistema.

## 7.2 Datos relacionados a las líneas de transmisión

Los datos relacionados a las líneas de transmisión eléctricas de ETECEN han sido proporcionados por dicha Empresa en cuadros y planos, los datos de interés para el diseño del Sistema de comunicaciones por fibra óptica son resumidos en el cuadro VII.1. En el cuadro VII.1 **un circuito** se refiere al conjunto de 3 cables que constituyen las tres fases; la **torre** es la infraestructura en la que se soportan los respectivos circuitos de la línea de transmisión, las líneas de transmisión que no figuran con código son líneas proyectadas, pero que en la actualidad para realizar la interconexión entre subestaciones utilizan líneas de transmisión de propiedad de otra empresa de transmisión eléctrica, los **vértices** son los puntos en los cuales la línea de transmisión cambia de dirección.

**CUADRO VII.1**  
**DATOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICAS U.T. SIERRA NORTE**

Código de Circuito	Línea de Transmisión		Total Torres	Long. (Km)	Tensión (KV)	Nº de Circuitos	Año en servicio	Vano medio (m)	Vano máximo (m)	Nº de vértices
	De:	A:								
L-201 y L-202	Campo Armiño	Pomacocha	398	192.22	220	2	1973	485	600	65
L-205 y L-206	Pomacocha	San Juan	221	112.19	220	2	1973	510	900	33
L-204	Campo Armiño	Huancavelica	137	66.47	220	2	1973	489	600	14
L-231	Huancavelica	Independencia	400	180.78	220	2	1983	454	600	67
L-218 y L-219	Campo Armiño	Pachachaca	401	194.82	220	2	1983	488	600	62
L-222 y L-223	Pachachaca	Callahuanca	138	72.64	220	2	1984	531	1000	30
L-226	Pachachaca	Pomacocha	34	13.46	220	1	1991	396	500	12
L-220	Campo Armiño	Huayucachi	156	76.59	220	1	1991	495	600	16
L-221	Huayucachi	Zapallal	570	244.11	220	1	1983	430	600	92
L-120	Paragsha	Huánuco	167	86.21	138	1	1988	520	900	12
L-121	Huanuco	Tingo María	155	88.16	138	1	1988	573	1100	14
L-122	Tingo María	Aucayacu	131	44.42	138	1	1997	342	500	9
*	Paragsha	Carhuamayo	119	42.5	138	1	.....	358	500	15
*	Carhuamayo	Nueva Oroya	196	75.5	138	1	.....	386	500	23
*	Nueva Oroya	Pachachaca	48	20	220	1	.....	417	600	11

\* Circuito proyectado

## **CAPITULO VIII**

### **ANÁLISIS COMPARATIVO DE TIPOS DE CABLE Y FIBRA ÓPTICA**

#### **8.1 Tipos de cable de fibra óptica**

Existen tres tipos de cable que pueden ser instalados utilizando infraestructura de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión; el cable de guarda con fibra óptica incorporada OPGW, el cable autoportado totalmente dieléctrico ADSS, y el cable enroscable LASHED. Asimismo cada tipo de cable tendrá características particulares, de acuerdo a la longitud del vano, condiciones climáticas del lugar a ser instalado, y voltaje de la línea de transmisión.

La elección del tipo del cable se realizará considerando las ventajas técnicas y económicas que posea cada uno ellos según las características actuales y futuras de la línea de transmisión eléctrica, por lo que dichas características deberán ser evaluadas por tramos, ya que están varían según su ubicación geográfica y según las necesidades energéticas de la región.

- **Cable de guarda con fibra óptica incorporada (OPGW)**

Como su nombre lo indica, es un cable de propósito dual, por lo que adicionalmente a las características propias de la fibra óptica deberá tener las características eléctricas del cable de guarda convencional que está o estaría instalado.

Entre los conductores del cable de guarda y los tubos donde se alojan las fibras ópticas debe existir la suficiente protección mecánica para evitar daños a la fibra óptica, es el tipo de cable mas usual en este tipo de instalaciones, es mas adecuado instalarlo en redes nuevas.

- **Cable autosoportado totalmente dieléctrico (ADSS)**

El cable ADSS es un cable compuesto íntegramente por material dieléctrico, este tipo de cable se instala independientemente del sistema eléctrico, por lo que no importa si el sistema está o no con energía.

Este cable en presencia de altos voltajes puede presentar el fenómeno de tracking debido al efecto corona, pero con el desarrollo de nuevos materiales para la cubierta se ha contrarrestado este fenómeno, también existen elementos de ferretería que contrarrestan este fenómeno.

El avance tecnológico en el desarrollo de nuevos materiales para la cubierta ha hecho del cable ADSS, una de las mejores soluciones para instalaciones con sistema energizado; sin embargo se debe tener muy en cuenta los voltajes muy altos y vanos muy largos, ya que pueden dejar de ser los mas económicos.

- **Cable enroscable al elemento conductor (LASHED o WRAP ON)**

Es un cable dieléctrico como el ADSS, necesita de un cable adicional para soportarse, se instala en el cable de guarda o en un cable de fase para tensiones menores de 180 KV., para su instalación es necesaria una maquinaria especial para

enroscar el cable al conductor, se recomienda su instalación en casos que la instalación de los otros tipos de cable se haga dificultoso.

## **8.2 Tipos de fibra**

Existen diversos tipos de fibra, estas las podemos clasificar en fibras multimodo y fibras monomodo, las fibras multimodo por sus valores de atenuación y dispersión cromática solo se usan actualmente para enlaces de baja velocidad y corto alcance, por lo que describiremos cuatro tipos de fibra monomodo; fibra monomodo de dispersión normal (SM), fibra monomodo de dispersión desplazada (DS), fibra monomodo de dispersión desplazada no nula (NZD), fibra monomodo de dispersión normal de atenuación optimizada.

- **Fibra monomodo de dispersión normal (SM)**

Es la fibra monomodo convencional, con atenuación mínima en 1550 nm y dispersión nula en 1310 nm., normalizada por UIT según recomendación G-652. Pueden ser de revestimiento adaptado o revestimiento con depresión.

- **Fibra monomodo de dispersión desplazada (DS)**

Es la fibra monomodo cuya dispersión nula ha sido desplazada a la longitud de onda de 1530 nm, normalizada por UIT según recomendación G-653, se buscó con esto sumar a la característica de baja atenuación la dispersión nula que en la fibra convencional se encuentra en la segunda ventana. Sin embargo este tipo de fibra no es la mas conveniente para transmisión multiplexada en longitud

- **Fibra monomodo de dispersión desplazada casi cero (NZD)**

Es la fibra monomodo cuya dispersión nula ha sido desplazada a una longitud de onda inferior a 1530 nm, normalizada por UIT según recomendación G-655. Existen de pendiente normal de dispersión y de pendiente reducida de dispersión.

- **Fibra monomodo de atenuación optimizada**

Es una fibra monomodo cuya dispersión no ha sido desplazada, pero la atenuación en la zona de Absorción de oxidrilos ha sido minimizada, por lo que es posible transmitir en todo el rango de longitudes de onda desde 1285 nm hasta 1620 nm.

### **8.3 Criterios considerados en la selección del cable de fibra óptica**

Las características a analizar en el tendido de cable de fibra óptica son las siguientes:

- **Confiabilidad**

  - Independencia del cable de guarda

- **Sobrecarga estructural**

  - Dificultad de instalación en sistema nuevo.

- **Dificultad de instalación en sistema existente**

  - Dificultad de instalación con tensión conectada

  - Facilidad de mantenimiento

- **Costo del producto.**

Costo de instalación

Costo total del sistema

Transferencia de esfuerzos para las fibras con el tiempo

Acceso a las fibras ópticas

- **Confiabilidad**

El cable OPGW por ser el más ampliamente utilizado siendo la solución clásico para líneas de transmisión aéreas, es sin duda un sistema confiable una vez instalado.

El ADSS es más reciente, la concepción de este va acompañada de la evolución de los materiales totalmente dieléctricos, un problema crítico residía originalmente en el fenómeno de tracking (por efecto corona), pero este problema se ha solucionado con el desarrollo de cubiertas especiales.

El cable LASHED o WRAP ON tiene las ventajas del ADSS en cuanto a ser dieléctrico, pero eventuales vibraciones eólicas contra el cable de guarda pueden comprometer su desempeño. Su disposición también origina un área resistente al viento mayor que las secciones circulares.

- **Independencia del cable de guarda y de los conductores de fase.**

Solamente el cable ADSS trabaja independientemente del sistema eléctrico, por lo tanto las otras configuraciones están siempre sujetas a problemas eléctricos o mecánicos que por algún motivo ocurran en la línea de transmisión eléctrica.

- **Sobrecarga estructural**

En general las torres de transmisión soportan esfuerzos adicionales por la inclusión de nuevos elementos.

En este caso los cables dieléctricos, es decir ADSS y LASHED, llevan cierta ventaja sobre OPGW, que por la necesidad de un diámetro mayor comparado con el cable de guarda tradicional, introduce un peso significativo.

- **Instalación en sistema nuevo**

En el caso que se instala una nueva línea de transmisión, la instalación del cable ADSS y el cable OPGW son simples, el tendido de un cable LASHED o WRAP ON no es apropiado, ya que previamente tendrá que tenderse un cable que soporte la fibra.

- **Instalación en sistema existente**

En este caso la instalación del cable ADSS es simple, debido a su independencia con el sistema eléctrico, el cable LASHED también es apropiado en estos casos, sin embargo habría que tener en cuenta la antigüedad del cable de guarda o de fase al que será adosado este cable, para que el tiempo de duración del cable de guarda o de fase esté garantizada mínimamente para el mismo tiempo de vida del cable de fibra óptica, es también importante verificar que las estructuras soporten la maquinaria instaladora; el cable OPGW presenta el inconveniente de que hace necesario retirar previamente el cable de guarda existente, lo que incrementa el costo total de la instalación.

- **Trabajo con tensión conectada**

El cable ADSS por su independencia con el sistema eléctrico, es sencilla su instalación con tensión conectada, el cable OPGW es recomendable no instalarlo con la tensión conectada, el cable LASHED es complicado instalarlo con tensión conectada ya que requiere equipamiento especial.

- **Facilidad de mantenimiento**

El mantenimiento en cable ADSS, es mucho mas sencillo que en los cables OPGW y LASHED, tanto por su independencia, como por su accesibilidad.

- **Costo del Producto**

Los costos del cable son relativos ya que en caso del ADSS, éstos pueden ser muy económicos cuando la intensidad de campo eléctrico y/o la longitud del vano no tienen valores altos, el costo del cable OPGW depende solamente de la longitud del vano; en condiciones promedio el cable LASHED es el de menor costo, debido a que no necesita protección mecánica contra los esfuerzos, como el caso de el ADSS y el OPGW, además su costo no depende de la longitud del vano, ni de la intensidad del campo eléctrico; el cable ADSS a su vez es menos costoso que el cable OPGW

- **Costo de instalación**

En cuanto a la instalación, la instalación del ADSS es la mas económica, por que el acceso al cable es mas fácil y el avance de obra es significativamente mayor, el sistema LASHED requiere equipo especial y mano de obra calificada, su instalación se hace mas complicada que el OPGW.

- **Costo total de la instalación**

Sumando los costos parciales se verifica que el cable ADSS tiene la mayor ventaja para vanos cortos, y lugares accesibles, para vanos largos en instalaciones nuevas el OPGW puede ser el mas económico; en vanos largos en instalaciones existentes el WRAP ON puede ser el mas económico.

- **Transferencia de esfuerzos a las fibra con el tiempo**

En este caso el cable LASHED o WRAP ON , debido a que los coeficientes de dilatación lineal son diferentes de los cables metálicos, están sujetos a ser traccionados.

- **Acceso a las fibras ópticas**

Los cables ADSS posibilitan fácil acceso al núcleo óptico en cualquier punto del enlace y permite la restauración en caso de ruptura del circuito.

#### **8.4 Criterios para la selección de la fibra óptica**

Se considerará para la elección del tipo de fibra:

Atenuación de la fibra.

Coefficiente de dispersión cromática

Pendiente de dispersión cromática

Influencia en el costo del cable

Influencia en el costo de equipos

- **Atenuación de la fibra**

La atenuación de la fibra no varía según su tipo, en las denominadas segunda y tercera ventana, en el rango de 1350 a 1450 denominada la quinta ventana la fibra para toda longitud de onda tiene un ventaja sobre todas las demás.

- **Coefficiente de dispersión cromática**

En la fibra de dispersión normal, y atenuación optimizada, la mínima dispersión cromática está en la segunda ventana, mientras que en tercera ventana puede estar entre 17 y 20 ps.nm.Km, en las fibras DS y NZD la mínima dispersión cromática está en la tercera ventana, mientras que en segunda ventana puede estar entre 17 y 20 ps.nm.Km.

- **Pendiente de dispersión cromática**

En cualquier tipo de fibra se puede fabricar con pendiente normal o pendiente reducida.

- **Influencia en el costo del cable**

Un cable de fibra de dispersión normal es el más económico, la de atenuación optimizada tiene un precio ligeramente mayor a este, mientras que el NZD es el más costoso, el cable DS no se encuentra disponible en el mercado local.

- **Influencia en el costo de equipos**

El único tipo de fibra que puede influenciar favorablemente en el costo de los equipos con respecto a las demás es la fibra atenuación optimizada.

## **CAPITULO IX DISEÑO DE LA RED DE ENLACE**

### **9.1 Criterios Considerados**

El tipo de cable de fibra y la capacidad de los equipos se ha elegido teniendo en consideración lo siguiente:

- Se ha considerado una red tipo estrella por la misma topología de la red de Etecen, también se han elegido las rutas mas cortas para efecto de optimizar costos en planta externa.
- Se ha elegido tipos de cable distinto, según las condiciones del estado de la Red de Etecen, la facilidad de la instalación según la geografía del tramo, las condiciones ambientales y los costos totales..
- El tipo de fibra se ha elegido considerando la capacidad actual y la capacidad de crecimiento futuro y los costos.
- Los equipos deberán tener la configuración mínima con los canales requeridos, con posibilidad de crecimiento suficiente, como para aprovechar la capacidad de la fibra.
- Se evaluará los requerimientos para el peor caso, es decir mayor número de empalmes, máximas atenuaciones de éstos permitidas.

- En lo posible se tratará de usar la menor variedad de dispositivos y tipos de cable por ser económicamente más factibles (por ejemplo es más económico comprar 50 km. de un sólo tipo de fibra que 50 km. de tres ó más tipos por concesiones con el fabricante)
- Se prevee además el crecimiento a una Jerarquía digital mayor por lo que se considerará un margen de seguridad (5 dB).

## 9.2 Topología De La Red

La topología de la red de fibra óptica se ha diseñado teniendo en consideración las distancias más cortas, la utilización de la infraestructura existente, y las proyecciones futuras.

En la U.T. Sierra Norte la línea de transmisión es única, por lo que la ruta del cable de fibra óptica deberá superponerse necesariamente a esta línea.

En la U.T. Sierra Centro las líneas de transmisión Sierra centro son:

- L - 220 de Mantaro a Huayucachi.
- L - 226 de Pachachaca a Pomacocha.
- L - 204 de Mantaro a Huancavelica
- L - 220 de Huayucachi a variante de Chupuro
- L - 218 de Variante de Chupuro a Pachachaca

El enlace entre Sierra centro y Sierra norte se realizará a través de una nueva Línea de transmisión proyectada por ETECEN, paralela a la existente.

El enlace con Lima se realizará a través de la línea de transmisión L - 205 de Pomacocha a San Juan.

### 9.3 Cálculo De La Capacidad De Cada Enlace

En el trabajo de campo se comprobó los servicios actuales que posee Etecen, además de las encuestas realizadas se pudo hacer una proyección a 10 años, el resultado de esto lo tenemos en la figura 9.1, y el Cuadro IX.1; como la multiplexación básica se hace a nivel de canales de 64 Kb/s, la capacidad total de cada enlace se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_e \text{ (Kb/s)} = (\text{NET} + \text{NEPL} + \text{NEP} + \text{NES} + \text{NED} \times 2 + \text{NEV} \times 6) \times 64 \text{ Kb/s} \quad (1)$$

Donde:

NET : Número de enlaces de telefonía 4W E&M

NEPL : Número de enlaces Party Line

NEP : Número de enlaces Teleprotección

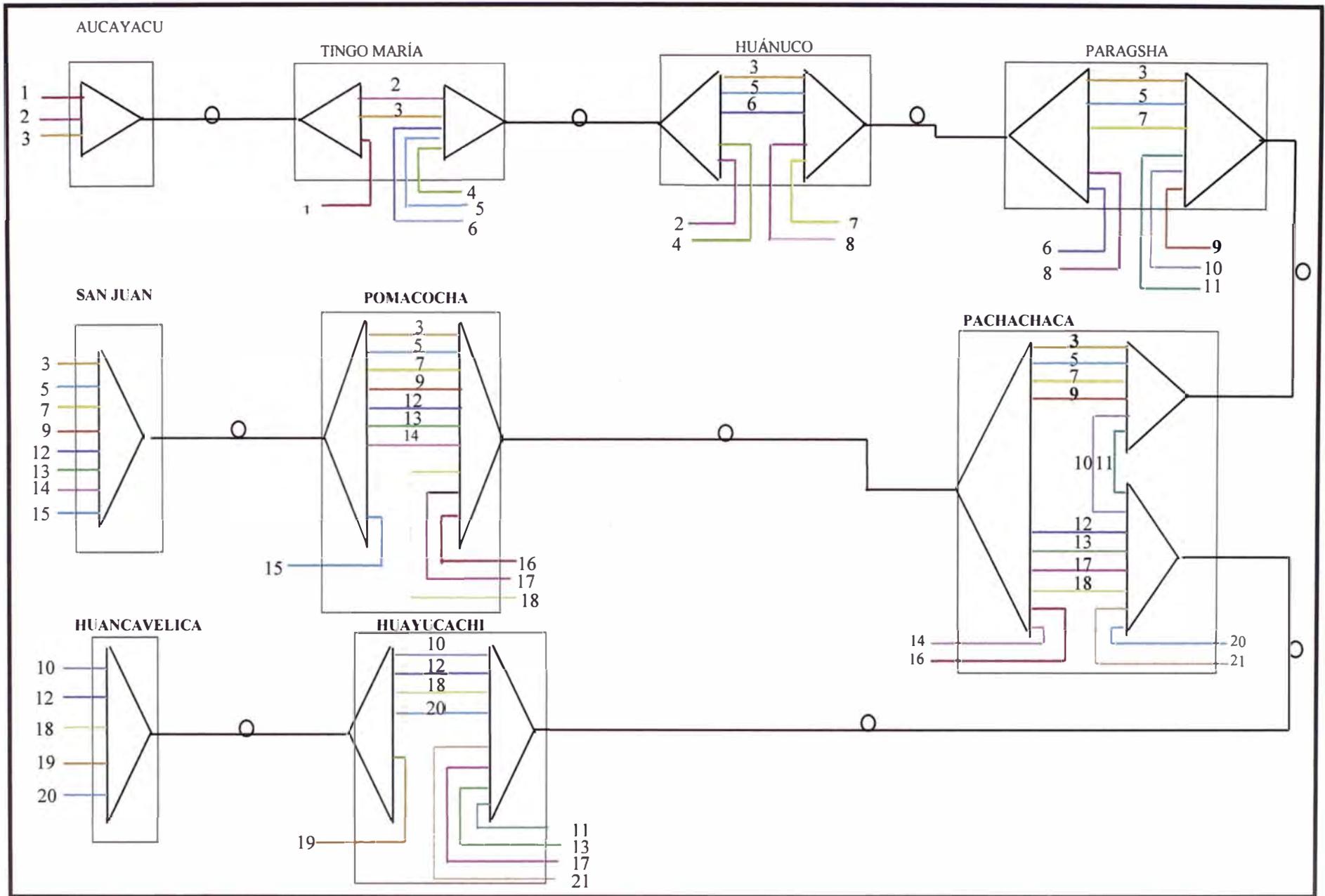
NES : Número de enlaces Scada

NED : Número de enlaces de Datos de Red LAN

NEV                      Número de enlaces de Videoconferencia

El número de canales de 64 Kb/s por cada servicio se muestra en el cuadro IX.2; y los cálculos de cada enlace se resumen en el cuadro IX.3, de acuerdo a la fórmula (1) y según los datos del cuadro IX.1

Existen enlaces que tienen secciones de línea comunes por lo que es necesario también calcular la capacidad de cada sección de línea, por lo que en la figura 9.2 se muestra el flujo del tráfico. De los resultados de la tabla IX.3 y la figura 9.2 se puede calcular la capacidad de cada sección de línea; los resultados se muestran en la tabla IX.4.



**Fig. 9.1** Enrutamiento de los enlaces

**CUADRO IX.1  
NECESIDADES DE TRÁFICO**

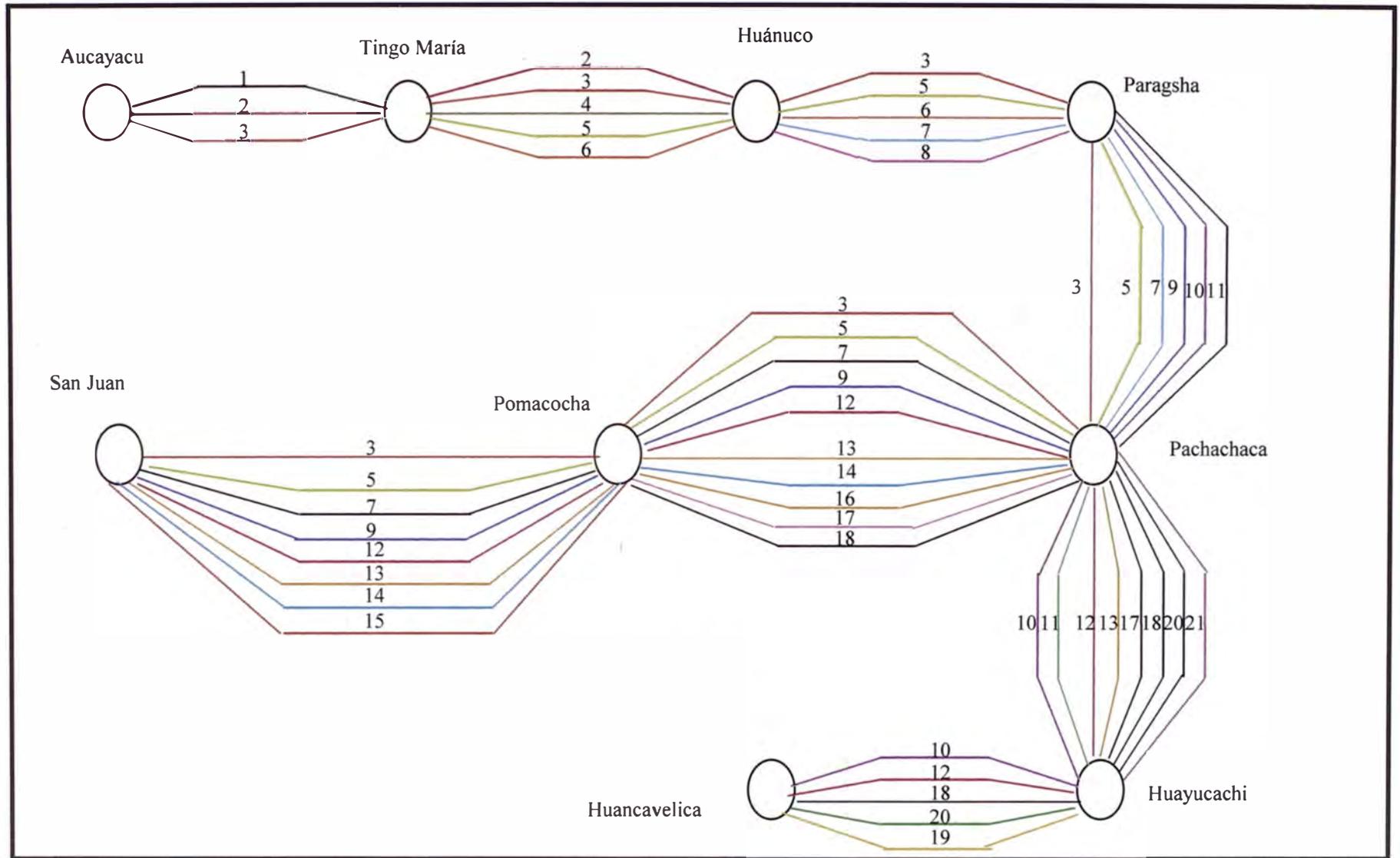
ENLACE	SERVICIO					
	Telefonía 4W E & M (64 Kb/s)	Party Line (64 Kb/s)	Teleprotección (64 Kb/s)	Scada (600 baudios)	Datos Red LAN (256 Kb/s)	Videoconferen. (384 Kb/s)
1. Aucayacu - Tingo María	5	1	1	2	1	0
2. Aucayacu - Huánuco	4	0	0	0	0	0
3. Aucayacu - San Juan	4	0	0	0	0	1
4. Tingo María - Huánuco	5	1	1	2	0	1
5. Tingo María - San Juan	8	0	0	0	0	0
6. Tingo María - Paragsha	4	0	2	0	0	1
7. Huánuco - San Juan	4	0	0	10	1	0
8. Huánuco - Paragsha	8	1	1	2	1	0
9. Paragsha - San Juan	8	0	0	0	2	1
10. Paragsha - Huancavelica	0	0	0	0	1	0
11. Paragsha - Huayucachi	0	1	0	0	0	0
12. San Juan - Huancavelica	4	0	0	0	0	1
13. San Juan - Huayucachi	6	0	0	30	1	1
14. San Juan - Pachachaca	4	0	0	0	0	1
15. San Juan - Pomacocha	4	1	2	2	1	1
16. Pomacocha - Pachachaca	4	1	1	2	1	0
17. Pomacocha - Huayucachi	4	0	0	0	0	0
18. Pomacocha - Huancavelica	4	0	0	0	0	0
19. Huancavelica - Huayucachi	4	1	0	2	1	0
20. Huancavelica - Pachachaca	4	0	0	0	0	0
21. Huayucachi - Pachachaca	4	1	1	2	1	0

**CUADRO IX.2**  
**CAPACIDAD DE SERVICIOS**

<b>TIPO DE SERVICIO</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>CANALES 64 Kb/s</b>
Telefonía 4W E&M	64 Kb/s	1
Party Line	64 Kb/s	1
Teleprotección	64 Kb/s	1
Scada	600 baudios	1
Datos Red LAN	256 Kb/s	4
Videoconferencia	384 Kb/s	6

**CUADRO IX.3  
CAPACIDAD DE ENLACES**

<b>N°</b>	<b>ENLACE</b>	<b>CAPACIDAD</b>
1.	Aucayacu - Tingo María	832 Kb/s
2.	Aucayacu - Huánuco	256 Kb/s
3.	Aucayacu - San Juan	640 Kb/s
4.	Tingo María - Huánuco	960 Kb/s
5.	Tingo María - San Juan	512 Kb/s
6.	Tingo María - Paragsha	768 Kb/s
7.	Huánuco - San Juan	1152 Kb/s
8.	Huánuco - Paragsha	1024 Kb/s
9.	Paragsha - San Juan	1408 Kb/s
10.	Paragsha - Huancavelica	128 Kb/s
11.	Paragsha - Huayucachi	64 Kb/s
12.	San Juan - Huancavelica	640 Kb/s
13.	San Juan - Huayucachi	2944 Kb/s
14.	San Juan - Pachachaca	640 Kb/s
15.	San Juan - Pomacocha	1216 Kb/s
16.	Pomacocha - Pachachaca	768 Kb/s
17.	Pomacocha - Huayucachi	256 Kb/s
18.	Pomacocha - Huancavelica	256 Kb/s
19.	Huancavelica - Huayucachi	704 Kb/s
20.	Huancavelica - Pachachaca	256 Kb/s
21.	Huayucachi - Pachachaca	768 Kb/s



**Fig. 9.2** Flujo de tráfico

**CUADRO IX.4  
CAPACIDAD DE SECCIÓN DELINEA**

<b>Sección de Línea</b>	<b>Ruta</b>	<b>Enlaces</b>	<b>Capacidad</b>
I	Aucayacu - Tingo María	1 - 2 - 3	1728 Kb/S
II	Tingo María - Huánuco	2 - 3 - 4 - 5 - 6	3136 Kb/S
III	Huánuco - Paragsha	3 - 5 - 6 - 7 - 8	4096 Kb/S
IV	Paragsha - Pachachaca	3 - 5 - 7 - 9 - 10 - 11	3904 Kb/S
V	Pachachaca - Pomacocha	3 - 5 - 7 - 9 - 12 - 13 - 14 - 16 - 17 - 18	9216 Kb/S
VI	Pomacocha - San Juan	3 - 5 - 7 - 9 - 12 - 13 - 14 - 15	9152 Kb/S
VII	Pachachaca - Huayucachi	10 - 11 - 12 - 13 - 17 - 18 - 20 - 21	5312 Kb/S
VIII	Huayucachi - Huancavelica	10 - 12 - 18 - 19 - 20	1984 Kb/S

#### **9.4 Cálculo del número de fibras por sección de línea**

En toda la red según lo observado en el cuadro IX.3, no presenta capacidades mayores a cinco E - 1, por lo que si empleamos tecnología PDH se usaría como máximo un multiplexor de 34 Mb/s, lo que implicaría usar 2 fibras activas; si usáramos multiplexores de 8 Mb/s entonces necesitaríamos 2 equipos y 4 fibras activas; por costos el sistema de 8 Mb/s para este caso es el mas factible, luego si aplicamos el 25% de reserva el número de fibras total serán seis, las secciones de línea de menor capacidad tendrán cables de igual número de fibras debido a que los costos se reducen cuando las adquisiciones son de volúmenes grandes.

Como el monto de la inversión es muy grande para la capacidad requerida para las necesidades internas de ETECEN, se dejará una planta con capacidad de

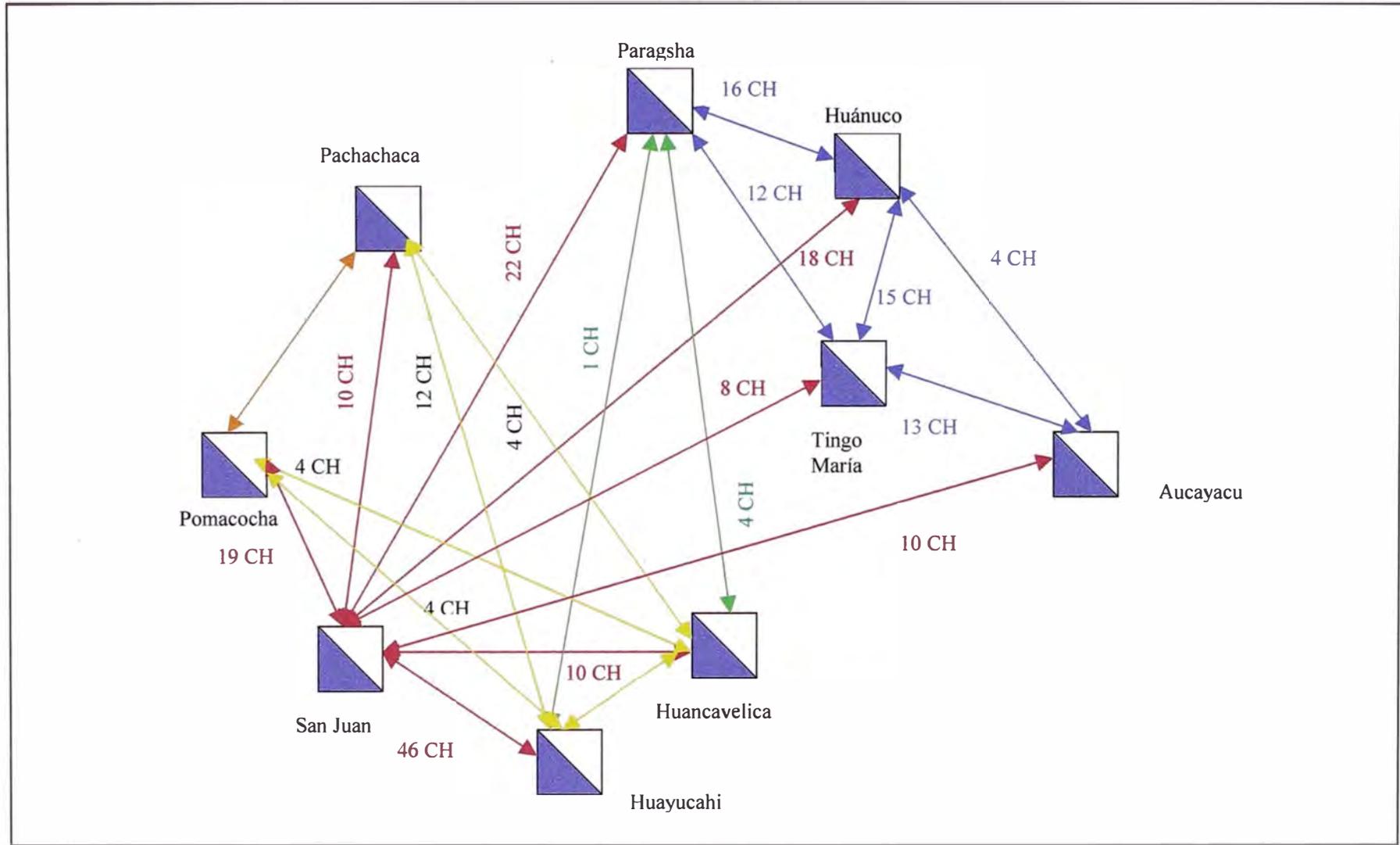
crecimiento en capacidad, por la posibilidad de arrendar fibra o longitudes de onda a operadoras en un futuro; por lo que la fibra deberá tener capacidad para trabajar en SDH, multiplexar en longitud de onda y tener fibras libres suficientes para estos fines.

Por lo anteriormente dicho, el sistema de transmisión elegido es STM-1 en las secciones de línea V y VI, en las secciones I y VIII el sistema de transmisión será a 2Mb/s, en las secciones II, III, IV, y VII el sistema de transmisión será a 8 Mb/s. La configuración total del sistema se detallará mas adelante.

Teniendo en consideración que en una longitud de onda se puede transmitir actualmente (fibra de dispersión desplazada casi cero de pendiente reducida) hasta 4,032 canales de 64 Kb/s (en caso de tributarios de 2 Mb/s), y en cada fibra se pueden transmitir hasta 16 longitudes de onda, lo que hacen un total de 64,512 canales por fibra, un operador de larga distancia tendrá capacidad suficiente en una fibra, teniendo en cuenta también que para cada enlace se necesitará un par de fibras activas (una de transmisión y una de recepción) y un par de fibras respaldo; se calcula que un cable de 12 fibras cubriría esta demanda sin grabar demasiado el costo de la inversión inicial (por cada 6 fibras adicionales de fibra se incrementa aproximadamente el costo entre \$0.40 y \$0.60 por metro de cable, dependiendo del tipo de fibra); ver fig. 9.3 y cuadro IX.5.

**CUADRO IX.5  
MATRIZ DE TRAFICO ENTRE ENLACES**

<b>Ciudad No Canales</b>	<b>Aucayacu</b>	<b>Tingo María</b>	<b>Huánuco</b>	<b>San Juan</b>	<b>Paragsha</b>	<b>Huancavelica</b>	<b>Huayucachi</b>	<b>Pachachaca</b>	<b>Pomacocha</b>
<b>Aucayacu</b>		13	4	10	0	0	0	0	0
<b>Tingo María</b>	13		15	8	12	0	0	0	0
<b>Huánuco</b>	4	15		18	16	0	0	0	0
<b>San Juan</b>	10	8	18		22	10	46	10	19
<b>Paragsha</b>	0	12	16	22		4	1	0	0
<b>Huancavelica</b>	0	0	0	10	4		11	4	4
<b>Huayucachi</b>	0	0	0	46	1	11		12	4
<b>Pachachaca</b>	0	0	0	10	0	4	12		12
<b>Pomacocha</b>	0	0	0	19	0	4	4	12	



**Fig. 9.3** Diagrama de tráfico de enlaces

## 9.5 Cálculos por sección de regeneración

La sección de Regeneración se entiende por la longitud en la cual está asegurada la comunicación es decir que la potencia del emisor al llegar al extremo de recepción sea mayor a la sensibilidad máxima del receptor, si una sección de línea supera esta longitud será necesario un regenerador o mas, o un amplificador óptico.

El cálculo de la sección de regeneración se hace calculando el límite por atenuación y el límite por anchura de banda, el menor valor será la longitud de cada sección de repetición; la instalación de un regenerador debe evitarse en lo posible, por lo que lo ideal es que prescindamos de ellos, luego nosotros iniciaremos nuestros cálculos tomando como punto de partida la posibilidad que la longitud mayor de sección de línea es nuestra sección de regeneración, luego procederemos a encontrar una fibra que pueda cumplir con las condiciones por límite de atenuación y límite por anchura de banda.

### Conclusiones de diseño

a) Los cálculos se deberían iniciar con el sistema de menor margen de atenuación, y en segunda ventana, y en caso no cumplir con los requisitos del límite por atenuación, realizar los cálculos con el sistema de mayor margen de atenuación, y si aun no cumple cambiar a la tercera ventana, sin embargo los fabricantes nos proporcionan distancias promedios de acuerdo al sistema, con lo que simplificaríamos algunos cálculos onerosos.

Según esto las distancias promedio de acuerdo al tipo de transmisor de las especificaciones de equipos en el capítulo 7 son:

S-1.1 30 Km

L-1.1 80 Km

L-1.2 120 Km

- b) Si en los cálculos de los límites por atenuación, el coeficiente de atenuación requerido está dentro del rango de especificaciones de algún tipo de fibra, entonces se realizan los cálculos por límite de ancho de banda.
- c) Si la dispersión cromática requerida, se encuentra dentro del rango de especificaciones de los tipos de fibra que cumplen con el requisito de atenuación y en la misma longitud de onda, entonces se elegirá la fibra de menor costo que cumple con estos requisitos.
- d) Si no se cumple lo mencionado en el ítem b), y si existe un sistema de mejor performance se hará los cálculos con éste, si aún no cumple, será necesario instalar un regenerador ó un Amplificador.
- e) Si habiéndose cumplido con el ítem a); no se cumple el ítem b), será necesario elegir una ventana de trabajo mayor, y si no existiera entonces será necesario instalar regeneradores o compensadores de dispersión.

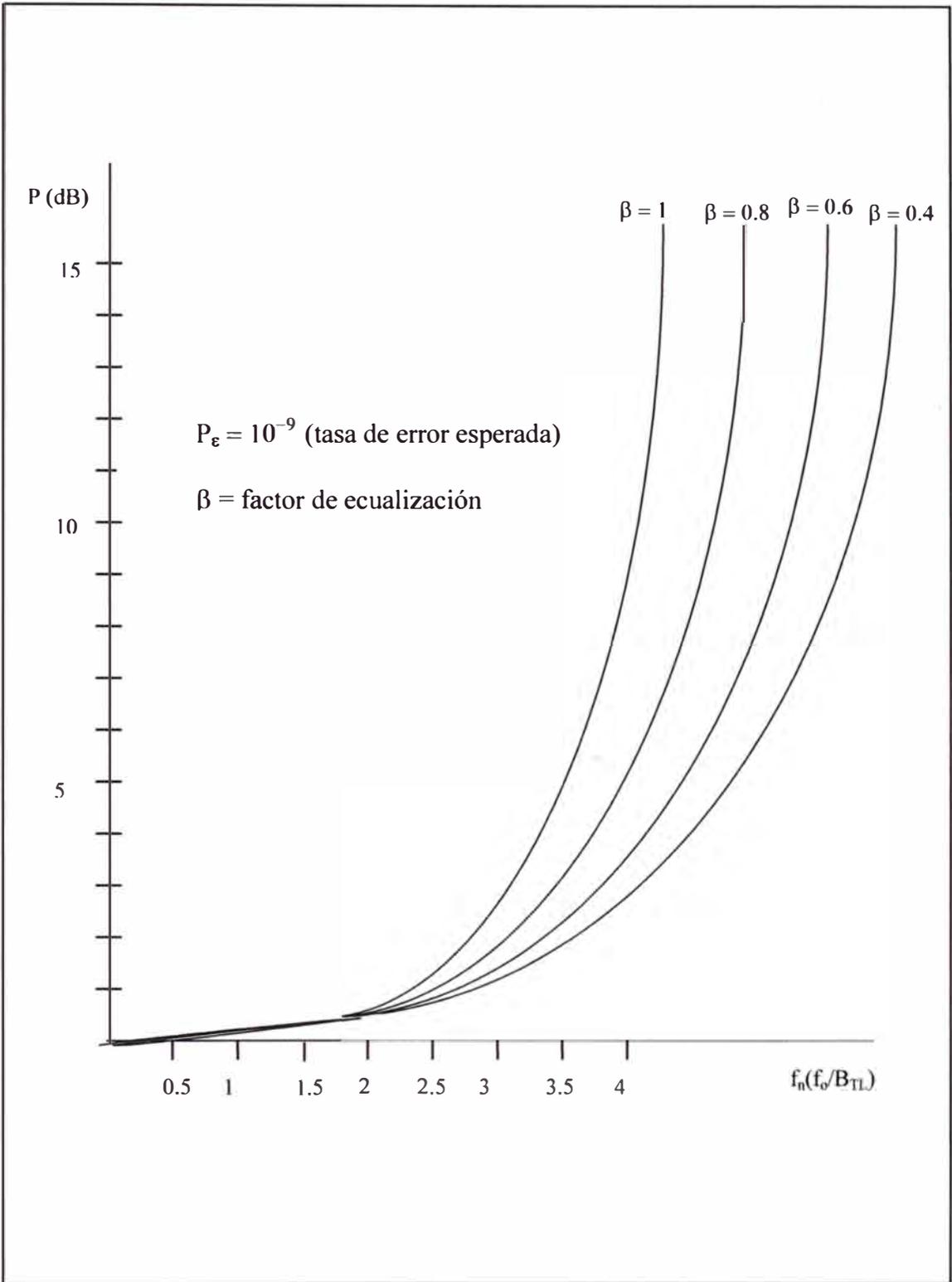
### **Ecuación**

Para evitar la interferencia intersímbolos se debe ecualizar, esto ocasiona en general un incremento del ruido a la salida, por lo que habrá que neutralizar este

efecto con un incremento de la potencia a la entrada del fotodetector, este incremento es conocido como penalización por ecualización.

El valor de la penalización se determina a partir de la relación entre la velocidad binaria ( $f_0$ ), el ancho de banda de la fibra ( $B_{TL}$ ), el factor de ecualización ( $\beta$ ), y la tasa de errores perseguida ( $P_e$ ).

Esta relación se representa en el gráfico de la fig. 9.4 de la página siguiente en que se muestra las curvas.



**Fig. 9.4** Penalización por ecualización

De las curvas podemos ver que para que el sistema sea independiente la frecuencia normalizada debe ser menor o igual a 1.6, por lo que si elegimos 1.5 se cumple con este requisito, por lo que la penalización por ecualización será de 1dB.

### Límite por atenuación

Estos cálculos consideran todas las pérdidas en el sistema, además de consideraciones de diseño, como la penalización de ecualización y el margen del sistema. En la figura 9.5 se esquematiza un sistema básico con todos los componentes que ocasionan pérdida de potencia óptica.

La ecuación que nos permite relacionar todos estos parámetros con la longitud de la sección de línea es:

$$P_i = P_r + \alpha L + n_c \alpha_c + n_e \alpha_e + P_p + MS \quad (2)$$

Siendo :

$P_i$	:	Potencia del transmisor acoplada a la fibra (dBm)
$P_r$	:	Sensibilidad máxima del receptor para un BER de $10^{-9}$ (dBm)
$\alpha$	:	Coefficiente de atenuación de la fibra (dB/Km)
$L$	:	Longitud de la sección de línea (Km)
$n_c$	:	Número de conectores de acoplo
$\alpha_c$	:	Atenuación promedio del tipo de conector (dB)
$n_e$	:	Número de empalmes
$\alpha_e$	:	Atenuación media de la clase de empalme (dB)
$P_p$	:	Penalización por ecualización (dB)
$MS$	:	Margen de seguridad (dB)

En las tablas IX.6, IX.7, y IX.8 se tiene el resumen de datos y cálculos, los datos se toman de especificaciones de fabricantes del capítulo 7, el valor de la penalización por ecualización se considera 1 dB, y el margen del sistema 5 dB, la atenuación en empalmes y conectores, según lo especificado en el capítulo 4 el empalme será por fusión, por lo que estimaremos una pérdida de 0.1 dB, por los criterios considerados del acápite 9.2 la longitud de suministro del cable se estima en 5 Km, el número de empalmes entonces se calcula con la siguiente fórmula:

$$n_e = \left[ \frac{L}{l} \right] + 2 \quad (3)$$

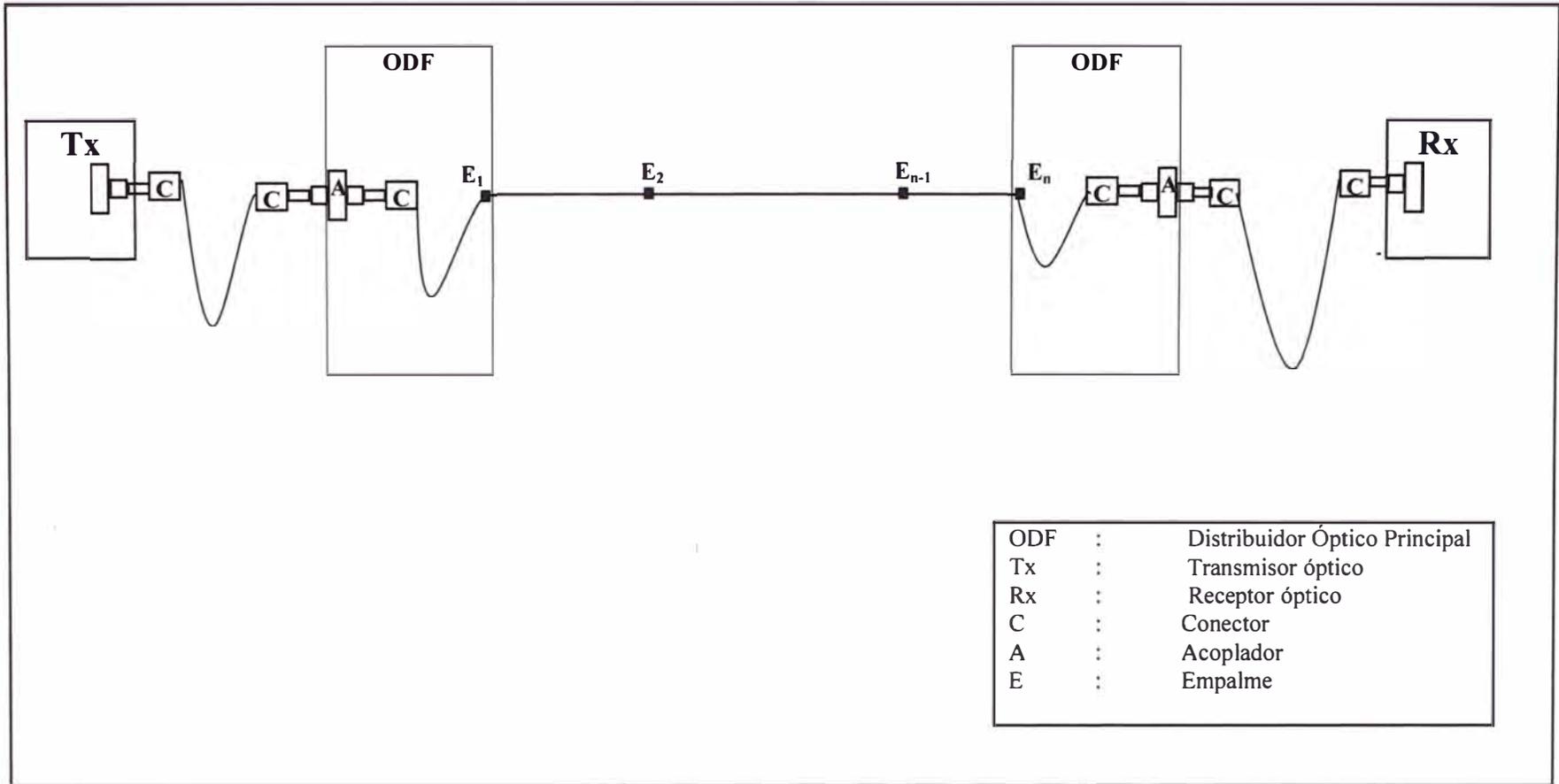
Donde L es la longitud de la sección de línea, y l es la longitud del cable en bobina.

El número de conectores es 4, teniendo en cuenta la figura 9.5 y que los datos de potencia del fabricante consideran el acoplo a la fibra.

La longitud por desarrollo de fibra en terminaciones y empalmes está considerado dentro del margen de seguridad.

Los cálculos de atenuación de línea y coeficiente de atenuación de la fibra están hechos de acuerdo a la (2) teniendo en cuenta que atenuación de línea es igual a  $\alpha L$ .

La fibra se estima que debe ser monomodo. El tipo de transmisor y receptor lo determinará el cálculo.



**Fig. 9.5** Esquema de la configuración de la planta

**CUADRO IX.6**  
**LIMITE POR ATENUACIÓN DE SECCIONES DE LINEA IV, VI, VIII**

Descripción de Datos	Sistema		
	STM-1 (155 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)	E-1 (2 Mb/s)
Sección de línea (Km) / número	112.19 / <b>VI</b>	138 / <b>IV</b>	143.06 / <b>VIII</b>
Atenuación de empalmes (dB)	0.1	0.1	0.1
Margen de seguridad (dB)	5	5	5
Atenuación de conectores (dB)	0.5	0.5	0.5
Penalidad (dB)	1	1	1
Transmisor óptico	L1.2	L1.2	L1.2
Potencia óptica inyectada (dBm)	0	0	0
Sensibilidad del receptor (dBm)	-34	-34	-34
Margen de atenuación (dB)	34	34	34
Atenuación de línea permitido (dB)	23.7	23.2	23.1
coeficiente máximo de atenuación de la fibra requerido (dB/Km)	0.211	0.17	0.161
Longitud de onda (nm)	1550	1550	1550

De la tabla se observa que sólo cumple para el primer caso, los otros dos necesitan de un regenerador ó amplificador, en la sección de línea VIII no existe subestación de propiedad de ETECEN, por lo que instalar un regenerador sería dificultoso debido a la necesidad de energía, además de ser mas económica la instalación de un EDFA (Amplificador de fibra dopada); en caso de la sección de línea IV, existe en un punto intermedio la subestación de carhuamayo, y debido a la posibilidad futura de necesidades de comunicación de dicha subestación, la ventaja de mejorar la relación señal a ruido, y a pesar de su mayor costo con relación a un amplificador, se instalará un regenerador.

**CUADRO IX.7**  
**LIMITE POR ATENUACIÓN DE SECCIONES DE LINEA II, III,VII**

Descripción de Datos	Sistema		
	E-2 (8 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)
Sección de línea (Km) / número	89.6 / II	86.4 III	123.22 VII
Atenuación de empalmes (dB)	0.1	0.1	0.1
Margen de seguridad (dB)	5	5	5
Atenuación de conectores (dB)	0.5	0.5	0.5
Penalidad (dB)	1	1	1
Transmisor óptico	L1.2	L1.2	L1.2
Potencia óptica inyectada (dBm)	0	0	0
Sensibilidad del receptor(dBm)	-34	-34	-34
Margen de atenuación (dB)	34	34	34
Atenuación de línea permitido (dB)	24.2	24.2	23.5
coeficiente máximo de atenuación de la fibra requerido(dB/Km)	0.27	0.28	0.191
Longitud de onda (nm)	1550	1550	1550

De forma análoga la longitud de línea VII necesitará un EDFA.

**CUADRO IX.8**  
**LIMITE POR ATENUACIÓN DE SECCIONES DE LINEA I, V**

Descripción de Datos	Systema	
	STM-1 (155 Mb/s)	E-1 (2 Mb/s)
Sección de línea (Km) / número	13.46 / V	44.42 / I
Atenuación de empalmes (dB)	0.1	0.1
Margen de seguridad (dB)	5	5
Atenuación de conectores (dB)	0.5	0.5
Penalidad (dB)	1	1
Transmisor óptico	S1.1	L1.1
Potencia óptica inyectada (dBm)	-8	0
Sensibilidad del receptor(dBm)	-28	-34
Margen de atenuación (dB)	20	34
Atenuación de línea permitido (dB)	11.7	25.1
coeficiente máximo de atenuación de la fibra requerido(dB/Km)	0.869	0.565
Longitud de onda (nm)	1330	1330

### Límite por ancho de banda

La dispersión acumulada total ( $\delta_L$ ) se ha determinado que está acotada en función del ancho de banda requerido (B), según la siguiente expresión:

$$\delta_L \text{ ( ns ) } \leq 0.187/B(\text{GHz}) \quad (4)$$

De acuerdo a la figura 9.3, el ancho de banda requerido se relaciona con la velocidad de transmisión en línea ( $f_0$ ) en función de la frecuencia normalizada ( $f_n$ ) ya el ancho de banda total de la fibra ( $B_{TL}$ ) con la expresión:

$$f_n = f_0/B_{TL} \quad (5)$$

A los bits de información ( $B_i$ ) al momento de transmitirse por la línea, en este caso la fibra óptica debe agregársele un número de bits para corrección de errores ( $B_c$ ) dependiendo del código de línea; esto crea la necesidad de incrementar la velocidad del sistema ( $f_s$ ), la expresión que relaciona la velocidad de transmisión con la velocidad del sistema es:

$$f_0 = f_s \times (B_t / B_i) \quad (6)$$

Siendo  $B_t = B_i + B_c$ , los bits transmitidos

En las especificaciones no tenemos el dato del código de línea por lo que asumiremos el código 5B6B (5 bits de información y 6 bits transmitidos).

La dispersión acumulada total para casos de fibra monomodo se relaciona con el coeficiente de dispersión cromática ( $D$ ), la anchura espectral ( $\Delta\lambda$ ), y la longitud de la sección de línea ( $L$ ) mediante la siguiente expresión:

$$\delta_L = D \times \Delta\lambda \times L \quad (7)$$

La longitud de la sección de línea es la misma que en el cálculo por el límite de atenuación; y la anchura espectral se tomará de las especificaciones del fabricante de acuerdo a la longitud de onda elegida en los cálculos del límite por atenuación.

En los cuadros IX.9, IX10, IX11, están resumidos los datos y resultados correspondientes a los cálculos por límite de ancho de banda.

**CUADRO IX.9**  
**LIMITE POR ANCHO DE BANDA SECCIONES IV, VI,VIII**

Descripción de Datos	Systema		
	STM-1 (155 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)	E-1 (2 Mb/s)
Sección de línea (Km) / número	112.19 / <b>VI</b>	138 / <b>IV</b>	143.06 / <b>VIII</b>
Código de línea	5B6B	5B6B	5B6B
Velocidad de transmisión (Mb/s)	186	9.6	2.4
Frecuencia normalizada	1.5	1.5	1.5
Ancho de banda requerido (MHz)	124	6.4	1.6
Transmisor óptico	L1.2	L1.2	L1.2
Ancho espectral (nm)	1	1	1
Dispersión total acumulada $\delta_L$ ( ns) = 0.187/B(GHz)	1.508065	29.21875	116.875
Coefficiente de dispersión cromática (ps/nm.Km)	13.44206257	211.73007	816.96491
Fibra óptica	dispersión normal	dispersión normal	dispersión normal

**CUADRO IX.10**  
**LIMITE POR ANCHO DE BANDA SECCIONES II, III, VII**

Descripción de Datos	Systema		
	E-2 (8 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)	E-2 (8 Mb/s)
Sección de línea (Km) / número	89.6 / <b>II</b>	86.4 / <b>III</b>	123.22 / <b>VII</b>
Código de línea	5B6B	5B6B	5B6B
Velocidad de transmisión (Mb/s)	9.6	9.6	2.4
Frecuencia normalizada	1.5	1.5	1.5
Ancho de banda requerido (MHz)	6.4	6.4	1.6
Transmisor óptico	L1.2	L1.2	L1.2
Ancho espectral (nm)	1	1	1
Dispersión total acumulada $\delta_L$ ( ns) = 0.187/B(GHz)	29.21875	29.21875	116.875
Coefficiente de dispersión cromática (ps/nm.Km)	326.102121	338.179977	948.50674
Fibra óptica	dispersión normal	dispersión normal	dispersión normal

**CUADRO IX.11**  
**LIMITE POR ANCHO DE BANDA SECCIONES IV, VI Y VIII**

Descripción de Datos	Systema		
	STM-1 (155 Mb/s)	E-1 (2 Mb/s)	
Sección de línea (Km) / número	13.46 / V	44.42 I	
Código de línea	5B6B	5B6B	
Velocidad de transmisión (Mb/s)	186	2.4	
Frecuencia normalizada	1.5	1.5	
Ancho de banda requerido (MHz)	124	1.6	
Transmisor óptico	S1.1	L1.1	
Ancho espectral (nm)	7.7	4	
Dispersión total acumulada $\delta_L$ ( ns) = 0.187/B(GHz)	1.508065	116.875	
Coefficiente de dispersión cromática (ps/nm.Km)	14.55071303	657.78366	
Fibra óptica	dispersión normal	dispersión normal	

De los cálculos se deduce que la fibra óptica podrá ser monomodo de dispersión normal, dentro de los tipos de fibra monomodo, existen la convencional y la de atenuación optimizada en quinta ventana, siendo que la proyección es la de tener enlaces de alta capacidad, utilizaremos la fibra de atenuación optimizada.

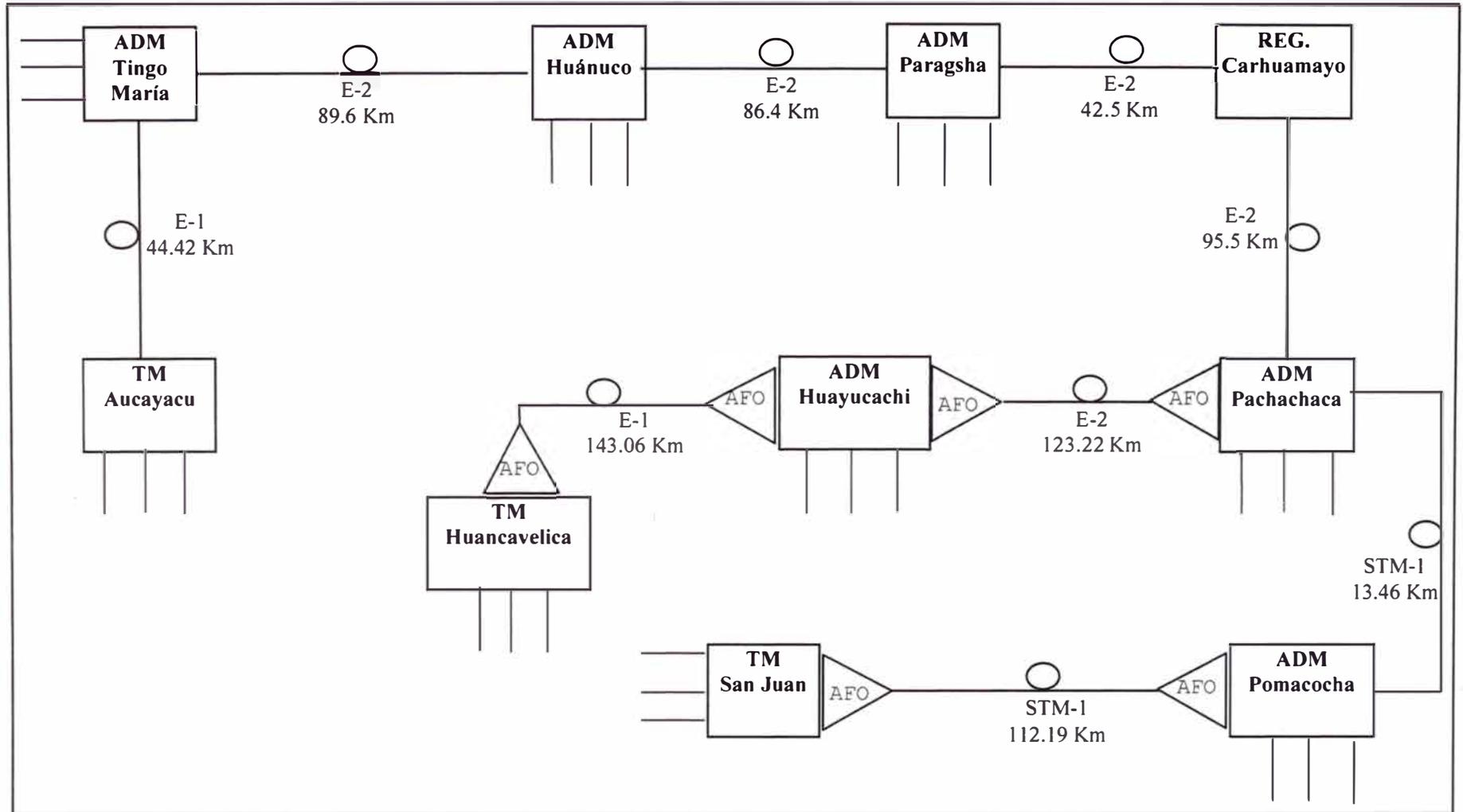
## 9.6 Descripción Del Sistema

El cable de fibra óptica desde Aucayacu hasta Paragsha será tipo Wrap on de 6 fibras monomodo atenuación optimizada, el cable desde Paragsha hasta Pachachaca será OPGW, el cable de Pachachaca hasta Huancavelica, y de Pachachaca a San Juan será Wrap on.

Como indica el diagrama los Equipos Terminales en San Juan, Huancavelica, y Aucayacu son multiplexores terminales, mientras que en las demás Subestaciones los equipos son multiplexores Add and Drop, en Carhuamayo se instalaran equipos regeneradores con opción a insertar tarjetas Add and Drop.

Los puertos ópticos en las secciones de línea Pachachaca - Pomacocha, Aucayacu - Tingo María, y Paragsha - Carhuamayo trabajarán en 1330 nm, los demás en 1550 nm.

En la figura 9.6 se muestra la configuración del sistema.



**Fig. 9.6 Configuración del sistema**

## **CAPITULO X METRADO COSTOS Y PRESUPUESTO**

### **10.1 Metrado y costo de equipos**

Los Equipos están descritos en los capítulos 7 y 10, y la configuración de los mismos y sus costos proporcionados por proveedores locales se resumen en los cuadros X.1 y X.2.

La interface de audio de 2 hilos se utilizará para Party line, cada tarjeta tiene capacidad para 16 líneas.

La interface de audio de 4 hilos se utilizará para la interconexiones de centrales telefónicas, cada tarjeta tiene capacidad para 8 líneas.

La interface X.21 se utilizará para Scada, cada tarjeta tiene capacidad para cuatro conexiones.

La interface V.35 se utilizará para datos, teleprotección y videoconferencia, cada tarjeta tiene capacidad para 4 conexiones.

La gestión estará centralizada en Lima (SSEE San Juan), por lo que el servidor estará ubicado en ese lugar, tendrá a la vez la posibilidad de gestión desde las SSEE de Huánuco, Huancavelica y Pachachaca, el metrado y costos del sistema de gestión se muestra en el cuadro X.3.

**CUADRO X.1  
METRADO Y COSTOS DE EQUIPOS ACCESO Y PDH**

Item	Descripción	Cant.										Precio Unit. \$	Sub- Total \$
		Aucaya.	Tingo María	Huánu.	Parags	Carh.	Pachac.	Pomac.	San Juan	Huayu.	Huanca velica		
1.	Tarjeta de interface óptica S-1.1							1				3011	3,011.00
2.	Tarjeta de interface óptica L-1.1	1	1		1	1						7530	30,120.00
3.	Tarjeta de interface óptica L- 1.2		1	2	1	1		1	1	2	1	9035	90,350.00
4.	Tarjeta interface E1						1					3614	3,614.00
5.	Tarjeta de cross conect y control	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2108	21,080.00
6.	Tarjeta interface audio 2 hilos	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1174	10,566.00
7.	Tarjeta interface audio 4 hilos E&M	2	3	3	3		2	2	6	2	2	1265	31,625.00
8.	Tarjeta Interface V.35 (n*64K)	1	2	1	3		2	2	3	1	1	903	14,448.00
9.	Tarjeta interface X.21	1	1	3	1		1	1	11	8	0	828	22,356.00
10.	Tarjeta de Suministro energía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	601	6,010.00
11.	Rack	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	376	3,760.00
12.	Rack de extensión								1	1		337	674.00
13.	Tarjeta madre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	828	8,280.00
14.	EDFA							1	1	2	1	18071	90,355.00
												<b>TOTAL</b>	<b>\$336,249.00</b>

**CUADRO X.2  
METRADO Y COSTOS DE EQUIPOS SDH**

Item	Descripción	Cant.									Precio Unit. \$	Sub- Total \$
		Aucaya.	Tingo María	Huánu.	Parags.	Carh.	Pachac.	Pomac.	San Juan	Huayu.		
1.	Tarjeta de interface óptica S-1.1						1				3011	3,011.00
2.	Tarjeta de interface óptica L- 1.2						2				9035	18,070.00
3.	Tarjeta de control y proceso						1				2710	2,710.00
4.	Tarjeta tributarios 2Mb/s						1				3011	3,011.00
5.	Tarjeta de interface trib. 2Mb/s						1				180	180.00
6.	Tarjeta Cross conect						1				4216	4,216.00
7.	Tarjeta order - Wire										601	0.00
8.	Tarjeta de sistema de reloj						1				1129	1,129.00
9.	Tarjeta Suministro energía						1				601	601.00
10.	Tarjeta de advertencias						1				300	300.00
11.	Sub Rack						1				3311	3,311.00
12.	Rack						1				753	753.00
13.	EDFA						1				18071	18,071.00
											<b>TOTAL</b>	<b>\$55,363.00</b>

**CUADRO X.3  
METRADO Y COSTOS DE SISTEMA DE GESTION**

Item	Descripción	Cant.									Precio Unit.	Sub- Total	
		Aucaya	Tingo María	Huánu.	Parags.	Carh.	Pachac.	Pomac.	San Juan	Huay u.	Huanca velica	\$	\$
1.	Equipo terminal servidor								1			1878.00	1,878.00
2.	Impresora Laser								1			961.00	961.00
3.	Equipo terminal de usuario			1			1	1		1	1348.00	5,392.00	
4.	UPS			1			1	1		1	1156.00	4,624.00	
5.	Software servidor							1			24096.00	24,096.00	
6.	Software usuario			1			1	1		1	30841.60	123,366.40	
											<b>TOTAL</b>	<b>\$160,317.40</b>	

## **10.2. Medrado y costo de Materiales**

Para el medrado de los materiales se toma en cuenta lo anotado en los capítulos 7, 8 y 9; El medrado y costo de los mismos se muestra en el cuadro X.4; los costos son referenciales, ya que han sido tomados de distintos proveedores, muchos de los cuales tienen diferencias notorias en sus costos.

**CUADRO X.4  
METRADO Y COSTO DE MATERIALES**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad								P. Unit. \$	Sub- total \$	
			Sección de línea										
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1.	Cable F.O ADSS 12 KV /span 900m	Km										5590.00	0.00
2.	Cable F.O ADSS 12 KV /span 1200m	Km										6930.00	0.00
3.	Cable F.O ADSS 25 KV /span 900m	Km					15	118	130	151		7800.00	3,229,200.00
4.	Cable F.O ADSS 25 KV /span 1200m	Km										9470.00	0.00
5.	Suspensión ADSS Vano largo	Kit						84	87	84		151.23	38,563.65
6.	Suspensión ADSS vano medio	Kit					19	80	83	90		119.70	32,558.40
7.	Sujeción ADSS	Kit					15	57	62	68		205.52	41,515.04
8.	Amortiguación de vibraciones eólicas ADSS	Kit					15	57	62	68		10.61	2,143.22
9.	Cable OPGW	Km				145						8200.00	1,189,000.00
10.	Suspensión OPGW	Kit				285						61.00	17,385.00
11.	Sujeción OPGW	Kit				78						101.50	7,917.00
12.	Amortiguador de Vibraciones eólicas OPGW	Kit				78						11.50	897.00
13.	Cable Wrap on	Km	47	95	91							7900.00	1,840,700.00
14.	By pass Wrap on	Kit	108	122	136							38.70	14,164.20
15.	Sujeción Wrap on	Kit	23	33	31							78.70	6,846.90
16.	Amortiguador de Vibraciones eólicas Wrap on	Kit	23	33	31							8.15	709.05
17.	Conjunto de empalme	Kit	10	19	19	29	3	24	25	29		380.00	60,040.00
18.	ODF 24 acopla dores FC-FC	Kit	1	1	1	1		2	1	2		450.00	4,050.00
19.	ODF 48 acopla dores FC-FC	Kit					1					520.00	520.00
20.	Pig tail x 3m FC/SPC	uno	8	16	16	16	24	24	16	24		80.00	11,520.00
21.	Patch Cord FC/SPC - SC	uno	2	4	4	4	6	6	4	6		160.00	5,760.00
22.	Ductos 2" x 3m	uno	8	10	9	6	16	18	12	13		5.00	460.00
23.	Canaletas ranuradas	uno	2	3	2	4	4	7	5	6		24.00	792.00
<b>TOTAL</b>												<b>6,504,741.46</b>	

### 10.3. Medrado y costo de mano de obra

En el cuadro X.5 se resume la mano de obra requerida y los costos por la misma.

Item	Concepto	Und.	Cant.	P. Unit (\$)	Sub Total (\$)
1.	Estudio e ingeniería				350,000.00
2.	Tendido de cable Wrap on	Km.	233	1590.00	370,470.00
3.	Tendido de cable ADSS	Km.	414	680.00	281,520.00
4.	Tendido de cable OPGW	Km.	145	800.00	116,000.00
5.	Empalme recto de cable Wrap on 8 hilos F.O.	uno	48	130.00	6,240.00
6.	Empalme recto de cable ADSS 8 hilos F.O.	uno	81	120.00	9,720.00
7.	Empalme recto de cable OPGW 8 hilos F.O.	uno	29	150.00	4,350.00
8.	Terminación Cable Wrap on 8 hilos F.O.	uno	8	120.00	960.00
9.	Terminación Cable ADSS 8 hilos F.O.	uno	6	115.00	690.00
10.	Terminación OPGW 8 hilos F.O.	uno	4	130.00	520.00
11.	Instalación de ODF	uno	10	20.00	200.00
12.	Instalación de equipos terminales	Set	10	6000.00	60,000.00
13.	Instalación de sistema de gestión	sist.	1	7200.00	7,200.00
14.	Mediciones de retroesparcimiento 2 ventanas	una	72	34.20	2,462.40
15.	Instalación ductos acometida f.o.	m	270	0.80	216.00
16.	Instalación canaleta organización f.o	m	60	1.00	60.00
<b>TOTAL (US \$ SIN IGV)</b>					<b>1,210,608.40</b>

## CONCLUSIONES

1. Las altas tecnologías en comunicaciones principalmente a nivel de protocolos IP, hace necesario que cada vez necesitemos mas capacidad en los medios de transporte, la fibra óptica es el medio que nos permite grandes capacidades y largas distancias, sin embargo aún así se está rebasando esas capacidades, por lo que se ha desarrollado nuevas técnicas para aprovechar al máximo la gran capacidad de los sistemas de transmisión ópticos.
2. Cualquier diseño de sistemas de fibra óptica debe prever el desarrollo a estas tecnologías emergentes.
3. La fibra óptica permite además una mayor diversidad de estructuras de cable que cualquier otro cable de conductores metálicos, entre esos tipos de estructura se encuentran algunos que son para usos de casos especiales, como es en este caso la alta tensión.
4. El tráfico actual es muy incipiente aun para un proyecto del costo que se estima, por lo que se propone comercializar el uso de fibras a terceros o el uso de canales de comunicación, con lo que la recuperación de la inversión se aceleraría.
5. El uso de la infraestructura existente de ETECEN permite abaratar los costos en referencia a los gastos de obra civil.

## **ANEXO A**

### **EQUIPOS DE MEDICION DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS**



# PC-Based OTDR

## Features

OTDR Module for Windows PC  
Kit Includes All Accessories And Training  
High Resolution, Long Range  
850/1300 nm Multimode and/or 1310/1550  
Singlemode, or both with extra optical  
module.

Software Provides Trace Storage and Analysis

Battery-powered for portability

Self-Study Training Program Included

**About half the price of a mini-OTDR!**

## Applications

Fault Location

Attenuation Measurement

Characterizing Fiber

**Perfect OTDR for Training-project for the whole class with a PC  
projector!**

## OTDR Module

The Fiber U OTDR module converts any Windows PC to a full function OTDR. The OTDR consists of an optical module for either 850/1300 multimode or 1310/1550 singlemode testing, a mainframe that controls the optical module and processes the optical signals and a user-supplied PC that processes and displays the traces. The module can be operated off an AC adapter/recharger or a built-in battery.

The OTDR module connects to the PC with a RS232 cable and the Windows 95/98 software supplied gives the PC full control of the module, provides for trace analysis and data storage. This is perhaps the easiest OTDR to use, since the operation is based on normal Windows operations. Functions are chosen by pointing with a mouse, buttons on the screen or "hot keys," traces are displayed in windows, and file management is Windows standard.

The OTDR screen contains complete data on the trace in toolbars and windows to let the user know at a glance what parameters were used in the testing and what is currently being measured. The software allows viewing or comparing up to 8 traces simultaneously, managing an unlimited number of stored traces, and analyzing the traces with equal power to any OTDR

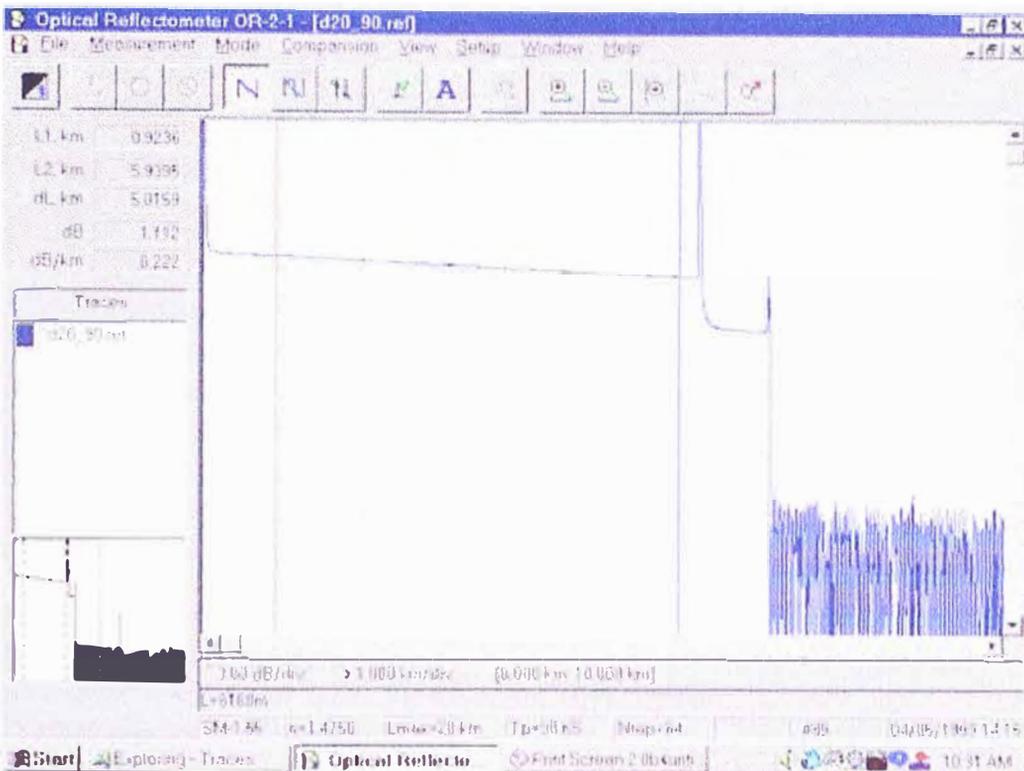


available today. An autotest function will identify relevant events and display the data on the trace.

For the instructor teaching fiber optics, this OTDR can be used with a large monitor or projector to allow the entire class to see the OTDR at work. The OTDR software can be used on any computer without the OTDR itself for analyzing data or teaching from stored traces. And the software license allows copying to multiple PCs in a lab, which allows all students to analyze the same traces as part of the class.

OTDR

display:



### OTDR Kits

The Fiber U OTDR Kit is a complete, ready-to-use package for the fiber optic installer, technician or instructor. It includes a OTDR, proper launch cable (sometimes called a pulse-suppressor cable), trace storage and analysis software, self-study training program and hard carrying case.

#### Self-Study Training Included

We've had several experiences with installers buying OTDRs and making big mistakes in using them. They are not

simple instruments like a fiber optic power meter and source. The user must know how to interpret the display on the instrument in order to use it's capability. So we've developed a self-study training program and bundled it



with our OTDRs, and we can provide training or tech support to make sure our customers are successful in their installations!

## OTDR Specifications

### Wavelength of the optical source of the OTDR

Plug-in optical unit	Wavelength, nm
MM - 850 (multimode)	850 +/- 30
MM - 1300 (multimode)	1310 +/- 30
SM - 1310 (singlemode)	1310 +/- 30
SM -1550 (singlemode)	1550 +/- 30

### Display Ranges:

Range of measured distances : 2; 5; 10; 20; 40; 90 and 180 km.

### Minimal resolution of indicating measured distance on the PC screen:

0,4 m within the range distances 2,5,10,20 km

0,6 m within the range distances 40 and 90 km

1,0 m within the range distances 180 km

### Absolute measurement uncertainty of distance

$$dL = (dl + L*dn/n + 5*10^{-5} *L),$$

where dl equal to:

3 m - within the range distances 2,5,10,20 km

6 m - within the range distances 40 and 90 km

12 m - within the range distances 180 km

L - optical fiber length, m

N - optical fiber refractive index

dn - error of refractive index for measured optical fiber.

### OTDR test pulse duration

Plug-in optical unit	Test pulses duration, nsec
MM-850	30,90,330,1000
MM-1300	30,90,330,1000
SM-1310, 1550	30,90,330,1000,3000,10000

### Range in dB:

Values of dynamic range in dB under SNR=1 for different optical units and pulse duration

<b>Pulsewidth, ns</b>	30	90	330	1000	3000	10000
<b>MM-850</b>	15	18	21	25	NA	NA
<b>MM-1300</b>	17	20	23.5	27	NA	NA
<b>SM-1310</b>	13	16	19	22	25.5	29
<b>SM-1550</b>	12	15	18	21	24.5	28

**Attenuation:**

**Resolution:** resolution of measured attenuation indicating at the PC screen  $\approx$  0.001 dB.

**Accuracy:** Absolute error for attenuation measurement is no more than 0.02 dB/km.

**Averaging:**

The OTDR allows setting the number of tests averaged to 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256. It may also be set to "free run" and give a real-time display.

**Fiber Optic Connector Interface:**

Multimode optical fibers are connected to the OTDR with ST - type connectors and singlemode optical fiber with the FC-type connector. Adapting to other connectors should be done with patch cables, hybrid mating adapters or the launch cable.

**PC Interface:**

The OTDR operating, mapping and storing of data is done by a standard PC using Windows 95/98. Connection to the PC is by RS-232 ports using the cable provided.

**Warm-up:** The OTDR requires a 10 minute warm-up time for best performance.

**Power:**

The OTDR can be powered from AC Adapter/Recharger or built-in battery, > 3 hours battery life with recharging in <10 hours. OTDR consumes less than 15 W<sub>power</sub>

**OTDR environmental operating conditions:**

Ambient temperature: 0C - 40C

Relative humidity: no more than 90% under 25C

Atmospheric pressure: 84 - 106,7 kPa

**OTDR size**

Mainframe : 260 x290 x 65 mm;

Supply source : 150 x 75 x 40 mm

**OTDR weight**

Mainframe : 5 kg

AC Adapter/Recharger  $\approx$  0,4 kg.

**EXFO**

Fiber-optic test, measurement and automation  
for the global telecommunication industry



## **IQ-2100 — Light Source**

The IQ-2100 series includes an exceptional selection of singlemode and multimode light emitting diodes (LEDs) and Fabry-Perot lasers.

### **Key Features**

- ▶ ORL option available at 1310 nm, 1550 nm and 1625 nm
- ▶ Single- or dual-wavelength LEDs and Fabry-Perot Lasers
- ▶ Temperature-controlled laser diodes
- ▶ Excellent power stability ( $\pm 0.03$  dB to 0.05 dB over 8 hours)
- ▶ Variable output power up to 10 dB
- ▶ Internal modulation up to 2 kHz



Fiber-optic test, measurement and automation  
for the global telecommunications industry.



## FPMD-5600 — Femtosecond Polarization Mode Dispersion (PMD) Analyzer

The FPMD-5600 Femtosecond Polarization Mode Dispersion (PMD) Analyzer enables users to measure small levels of PMD in narrowband DWDM channels and broadband components in the simplest, fastest and most repeatable manner.

With data transmission rates reaching 10 Gb/s and even 40 Gb/s, PMD characterization has become critically important. Optical component and system manufacturers must test for PMD in the femtosecond range, as even the smallest amounts from individual components can accumulate and limit performance in today's high-speed networks.

Perform measurements in less than two minutes at any resolution, significantly reducing testing time. Simplified single-button measurements allow a high throughput for production testing, thus reducing optical component manufacturing costs.

### Key Features

- Measure PMD values down to the femtosecond range
- Wavelength range: 1520 nm to 1625 nm (C+L bands)
- Extremely fast and repeatable PMD measurements resulting in higher resistance to environmental conditions
- Multi-user profiles and multi-user levels enable customized user privilege settings, allowing access to advanced information and data
- Uses the standardized fully polarimetric Poincaré Sphere Analysis (PSA) approach

### Additional Information

- Specsheet: FPMD-5600 Femtosecond PMD Analyzer (694 kB)

### Related Testing Instruments

- Polarization and Dispersion Test Equipment

### Related Solutions

PMD Evaluation of EDFAs

Polarization Mode Dispersion (PMD) Measurement: Narrowband DWDM Channels and Broadband Components



Fiber-optic test, measurement and automation  
for the global telecommunications industry.



## LFD-200 — Live Fiber Detector

The LFD-200 detects traffic and measures signals anywhere on singlemode and multimode fibers without having to disconnect them. Check for signal presence before re-routing or maintenance, perform continuity tests and check cable labeling. This live fiber detector uses a safe macrobending technique that does not disrupt traffic. At the same time, it avoids damaging or over stressing the fiber. You end up with accurate and reliable information.

### Key Features

- Detects traffic, optical tones and continuous signals
- Hold button provides hands-free operation
- Direct dBm measurement
- Perfect fit: 3 interchangeable adapter heads
- Interchangeable head stored in LFD-200

### Additional Information

- [Specsheet: LFD-200 Live Fiber Detector \(453 kB\)](#)

### Related Testing Instruments

- [Power Meters](#)
- [Accessories/Optical Software](#)

## **ANEXO B**

### **HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS DE INSTALACIÓN Y CONEXIONADO EN CABLES DE FIBRA ÓPTICA**

# Fiber Cleavers

FITEL



S324 photo

## S323 and S324 High Precision Cleaver

### For S323 and S324

- Cutting blade locks in place after scoring, preventing double scoring of fiber and also ensuring quality cleaving angles.
- Automatic cleave function provides constant cleaving pressure and improves cleave quality.

### For S323

- Waste fiber deposits automatically into a collection chamber, increasing cleaving efficiency by eliminating manual disposal and also eliminating hazardous waste fiber in the work area environment.
- Easily removable collection chamber allows for safe and secure waste fiber disposal.



S310(Left) & S315(Right)

## S310 and S315 Single Fiber Cleaver

The FITEL S310 and S315 single fiber cleavers are designed to cleave fibers quickly and accurately. Both cleavers will accommodate 0.25mm to 0.9mm coating diameters. The S310 cleaver is specially designed to cleave the fiber accurately to 16mm bare fiber length. The S315 cleaver is available with a scale, allowing fiber cleave lengths from 5 to 20mm. \*The cleave quality depends on skill of user and may not suitable to be used for fusion splicing.

## **Models**

### **Applicable optical fiber**

- **S310**  
**For cleaving the fiber to 16mm bare fiber length**
- **S315**  
**For cleaving the fiber to 5mm to 20mm bare fiber length with a scale**

## **Specifications**

### **Applicable optical fiber**

- **Silica glass-based optical fibers**
- **Coating diameter: 0.25 and 0.9mm**
- **Clad diameter: 0.125mm**

### **Size/Weight**

- **Dimension: 80L x 20W x 26Hmm**
- **Weight: 75g**

## **Fiber Strippers**

**FITEL**



### **S218 Series Optical Fiber Thermal Stripper**

1. Applicable for single-fiber and up to 12-fiber ribbon
2. AC, DC (fusion splicer), or Battery power selection
3. Runs continuously on a slot-in battery for up to 8 hours per charge
4. Interchangeable blades

[Click here for more information. \(S218.pdf, 91KB\)](#)



### **S210 Stripper for Single Fibers**

The FITEL S210 fiber stripper is a stripping tool for single fibers of 0.25mm and 0.9mm coating diameters. It provides easy, fast and low-cost stripping for preparing single fiber fusion splice.

### **Specifications**

#### **Applicable optical fiber**

- Silica glass-based optical fibers
- Coating diameter: 0.25 and 0.9mm
- Clad diameter: 0.125mm

#### **Size/Weight**

- Dimension: 80L x 20W x 26Hmm
- Weight: 75g

# Fusion Splicers **FITEL**



## **S176LP**

1. Three different body types to meet your specific ergonomic preferences
2. Core Alignment System for precise splicing
3. 11-second splice time and full automatic operation
4. Enhanced software that provides greater ease-of-use and convenience
5. Enhanced ergonomic for more comfortable and efficient operation
6. Refined splice chamber design that makes fiber placement easier and protects cameras from dirt and dust
7. An available fiber holder system for 250/400/900 micro meter fibers allows for greater precision and consistency

**S175 v.2000**  
**Core Aligning Fusion Splicer**



1. SM, MM, NZDS, DSF and EDF fibers.
2. Core monitoring and aligning
3. Splice inspection and loss estimation
4. Full automatic

**S199M**  
**Ribbon Fiber Fusion Splicer**



1. SM, MM, NZDS and DS fibers  
Single-fiber and 2/4/8/12 fiber ribbons  
(the maximum number of fibers differs by model number)
2. Clad monitoring and aligning
3. Splice inspection and loss estimation
4. Full automatic

# FIBERLIGN® Motion Control Products for OPGW & ADSS

## FIBERLIGN Spiral Vibration Damper for OPGW

The FIBERLIGN Spiral Vibration Damper effectively reduces levels of aeolian vibration on Optical Ground Wire (OPGW) or all other self-supporting cables. Each FIBERLIGN Spiral Vibration Damper has a helically formed dampening section sized for interplay of damper and cable, to provide the action/reaction motion that opposes the natural vibration wave. A smaller gripping section gently grips the cable so that cable and fiber are not damaged or distorted and there is no optical signal loss. The degree of protection needed for a specific application depends on a number of factors such as cable type, line design, temperature, tension, and exposure to wind flow. Consult PLP® for specific recommendations.



## FIBERLIGN Air Flow Spoiler for OPGW



The central spoiling section of the FIBERLIGN Air Flow Spoiler suppresses galloping or dancing motion of OPGW or other fiber optic cables by providing a constantly changing aerodynamic profile. Helical gripping sections on both ends of the FIBERLIGN Air Flow Spoiler secure the unit to the cable while minimizing compressive clamping forces. The number and placement of FIBERLIGN Air Flow Spoilers in each span are determined by a computer program which considers the results of ongoing field and laboratory research.

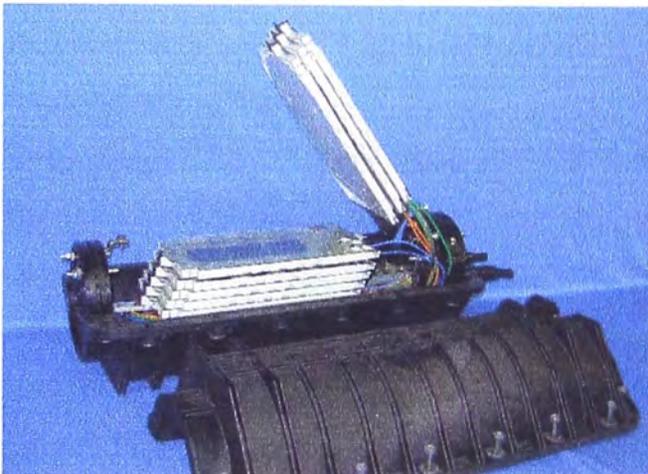
Consult Preformed Line Products Company for specific recommendations.

PATENTED

## Vibration Dampers for ADSS Cable

ADSS cables tend to vibrate at higher levels than other cables of comparable size, mainly due to their relatively lighter weight. Also the "soft" nature of their jackets and internal construction requires special consideration. A special damper, called the FIBERLIGN Dielectric Damper, has been developed specifically for application on ADSS cables. It utilizes the same dampening characteristics as the FIBERLIGN Spiral Vibration Damper, plus provides even gentler gripping.

## COYOTE® Closure... AND...COYOTE® Flip Tray Closure



Patented

1. Fiber management system includes splice trays for mass or single fusion mechanical splicing.
2. Three-section End Plate has six cable entry ports, captive hardware, strength member tie-off, isolated grounds and requires no field drilling.
3. Durable glass-filled high-density thermoplastic shells. Two diameters, 6.0", 8.5". Built-in shell stabilizers and air valve.
4. Field-proven, permanent neoprene gasket sealing system. No re-entry kits needed. No flame required to break the seal or to install.

5. LOCK-TAPE Sealing System ensures a tightly, permanently sealed End Plate assembly and maximum shear strength to resist cable pull out.

Designed to set the standard for the next generation of closures, the COYOTE Closure is a whole new breed of fiber optic closure.

The COYOTE Closure is the culmination of months of design work, after talking with people in the communications industries about what they needed in a new closure design. Craft-friendly, affordable, reliable, durable and tested in accordance with Bellcore Testing Requirement GR-771-CORE, the COYOTE Closure has proven well worth the effort. This is the closure that will ensure long-term reliability and quality of the signal -- voice, video and data. Its compact size disguises its storage capacity. At just 22" long, 6.0" and 8.5" in diameter, it can store up to 288 or 576 fiber splices respectively, using mass fusion splicing.

Even the packaging is different. Every component, for sealed or free-breathing installations, comes in one carton, packaged to order to meet your specifications.

The COYOTE Closure is a whole new breed, backed by the company that has offered dependable closures and related products for years - Preformed Line Products.

#### DESIGN FEATURES:

- Corrosion-resistant, re-enterable shells built to save time and money.
- Made of injection-molded high-density thermoplastic, the shells are built to last in any environment.
- Closing and re-entry are simple; closing hardware is captive so there are no loose parts to keep track of, and the torquing sequence is molded into the shell for easy reference. The neoprene gasket, proven effective in PLP's other closures, provides an airtight, waterproof seal and no re-entry kits are needed so waste is at a minimum.
- End Plate features premolded cable entry ports.
- For ease of ordering and ease of use, the End Plates are one size, 5-1/2" (13.97 cm) in diameter. There is a blank End Plate for butt splice applications, and a three-section End Plate that can be easily configured in the field for butt and in-line installations.

- The three-section End Plate has six premolded cable entry ports which means no additional cost for special drilling tools. Four ports accept cable diameters up to 7/8" (2.22 cm) in diameter and two up to 3/4" (1.90 cm).
- LOCK-TAPE Sealant, field-proven and factory-applied to the inside surfaces and around the ports of the three-section End Plate, ensures a tightly sealed, permanent and easy assembly without the use of sealing washers or grommets.
- With plugs for any unused cable entry ports, grounding hardware for individualized cable shield isolation/strength member tie-off, and captive hardware, the three-section End Plate is packed with time and money-saving features.
- Fiber management that is versatile and built for high-capacity fiber storage
- The trays in the Flip Tray version are also removable

One of the original demands in the COYOTE Closure design was that it be craft-friendly, and offer a high-capacity system for unitube, loose buffer tube, ribbon cable, and fire-retardant cable for single, mass fusion and mechanical splicing. The designers succeeded and went beyond expectations. The COYOTE Closure will easily accommodate dielectric and shielded cables. The storage compartment has ample space to meet the closure's splicing capacity for both unitube and buffer tube applications, and at a bending radius that ensures long-term optical performance.

Two types of splice trays are available, one for single fiber splices and one for mass fiber splices. Splice trays, for mass or single fusion and mechanical splicing, are layered above the transition/storage compartment and are easily slipped into place on two studs and secured with a hold down strap. Available with your choice of splice holder paks.

These injection-molded trays have hinged, clear plastic covers for maximum fiber protection that still allows for visible inspection of the fibers.

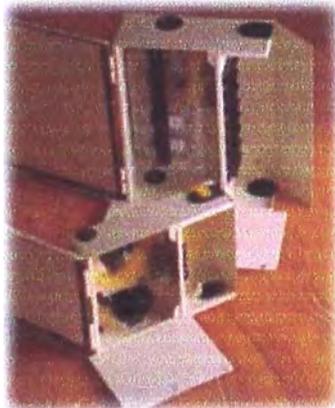
A series of tabs along the tray perimeter are easily removed to simplify routing of the fiber. When replaced, they retain the fiber.

Now available for use with the Coyote Closure- a new end plate with 4 pre molded entry ports accepting cable diameters up to 1 1/4".

## COYOTE® Wall & Rack Mount Cabinets

COYOTE Wall Mount Cabinets accommodate all cross-connect functions (splicing, termination and interconnection) for outside plant, backbone and building cables. Removable doors provide easy access. Cabinets are rugged 16-gauge steel construction and all plastic components are self-extinguishing, rated 94V-O. Cabinets are available in almond, also in black on request. The standard cabinets contain an innovative Fiber Management System with 2-tier fiber radius hoops to maintain orderly fiber management. For applications requiring splicing of loose buffer tube fiber cables or unitube fiber cables, cabinets come equipped with a Transition Assembly and COYOTE Splicing System. Splicing kits are available.

COYOTE Wall Mount Cabinets  
Available for 12, 24, 48, 72 and 144  
fiber connections.



## Rack Mount Cabinets

Available for 18, 36, 72 and 144 fiber connections.



**Rack Mount** - RTC, Rack Mount Termination Cabinets provide the Fiber facility for cross-connect, splicing and interconnect. Used in combination with MT Fiber assembly solutions will provide a plug and play Fiber network. SMP Rack Mount cabinets are designed using quality construction of 16-Awg steel and painted with either almond or black powder coat finish for long lasting durability and professional appearance.

## **ANEXO C**

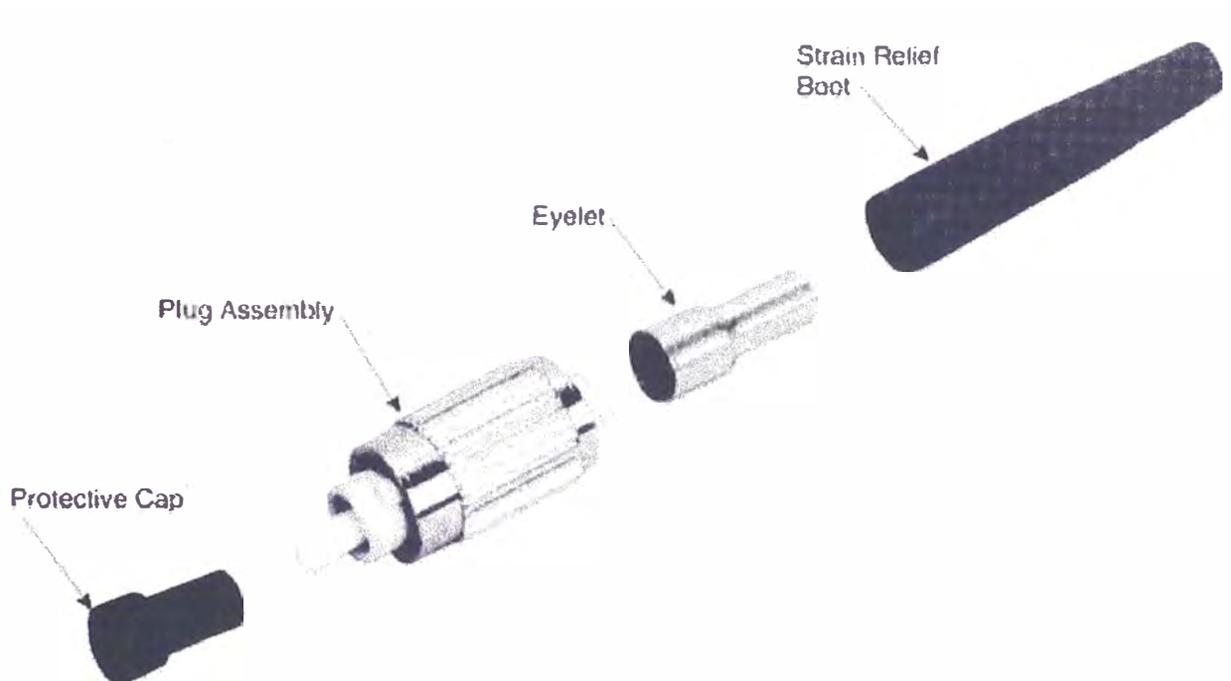
### **ADAPTADORES Ó ACOPLADORES DE INTERCONEXIÓN**

Permiten la unión de dos fibras conectorizadas, son dispositivos con conectores “hembra” en sus extremos, generalmente en ambos extremos tienen el mismo tipo de conector, pero pueden ser de distinto tipo, aunque esto puede significar una mayor pérdida de potencia en la inserción, se apilan en paneles para instalar en racks, o en Bastidores de repartición ópticos (ODF). Esto permite la flexibilidad de la red, y la facilidad de mantenimiento.

En las láminas de las páginas siguientes se presentan algunos conectores y sus especificaciones.

# FC/PC and D4/PC Type Connector Products

## FC Type Connectors



### Product Facts

- Singlemode
- Compliant with Bellcore 326
- Pre-radiused ferrule for PC (physical contact) or SPC (super physical contact) polishers
- Terminates up to 3.00mm dia. cable jacket
- Compatible with NTT-FC and JIS FC connectors
- May be tuned for minimum loss
- Simple field assembly
- Zirconia Ceramic ferrule

### Performance Characteristics

**Insertion Loss:** 0.2 dB typical

**Return Loss:** <-55 DB typical

**Temperature Range:** -40°C to +85°C

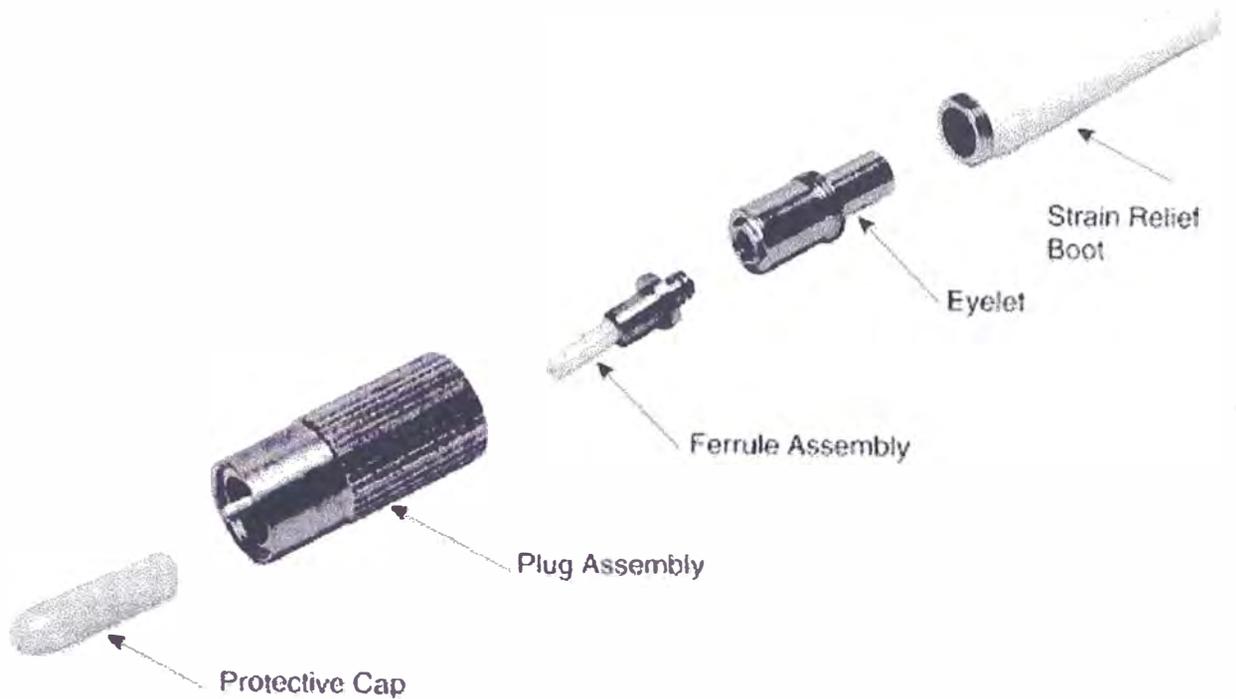
**Durability:** <0.2 DB change after 500 mating cycles

## Receptacle

### Product Facts

- For Singlemode or multimode
- Kit includes dust covers

## D4 Connectors



### Product Facts

- Singlemode
- Terminates up to 3.00 mm dia. cable jacket
- Compatible with NEC-D4 and JIS connectors
- Zirconia ceramic ferrule
- Easily applied in the field

## Performance Characteristics

**Insertion Loss:** 0.3 dB typical

**Return Loss:** <-40 dB typical

**Temperature Range:** -40°C to +85°C

**Durability:** <0.2 DB change after 500 mating cycles

## Receptacle

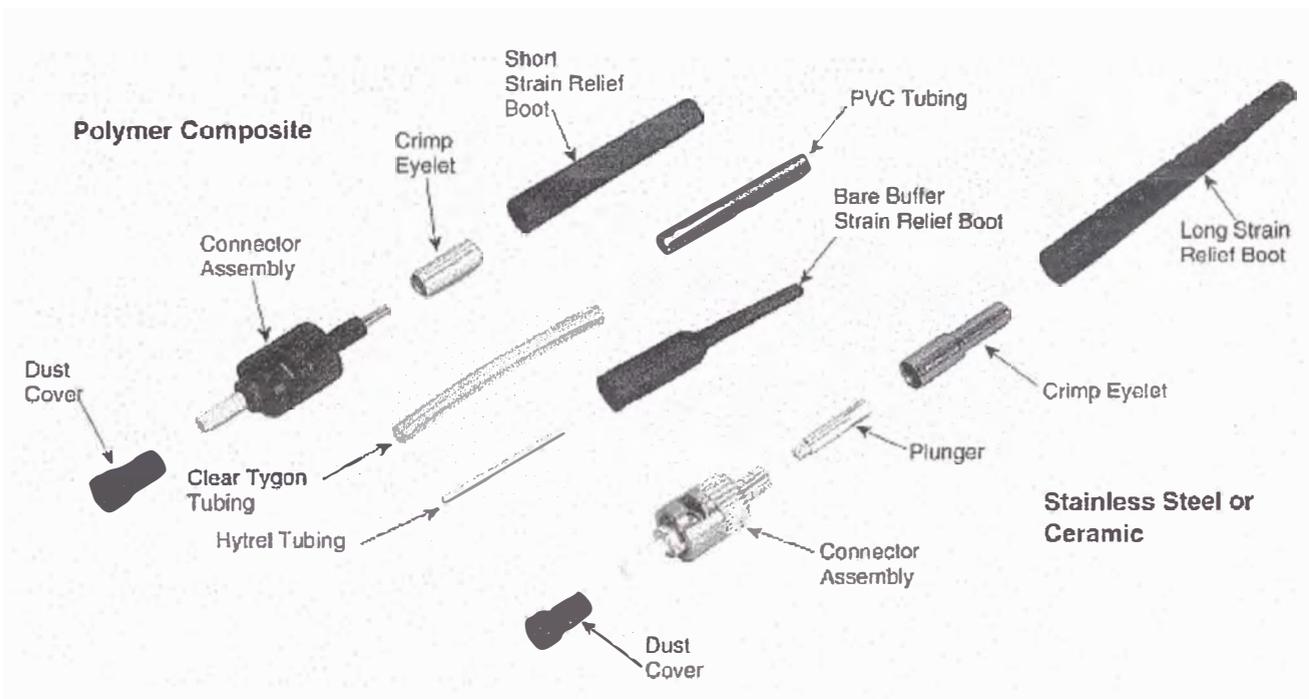
### Product Facts

- Singlemode
- Kit includes dust covers
- Nickel plated, die cast body

# ST Style Connector Products

## LightCrimp XTC

## Epoxyless ST Style Connectors



## Product Facts

- Singlemode or multimode
- Just crimp it on the fiber
- No epoxy
- 2 minute termination

## Technical Characteristics

### Durability

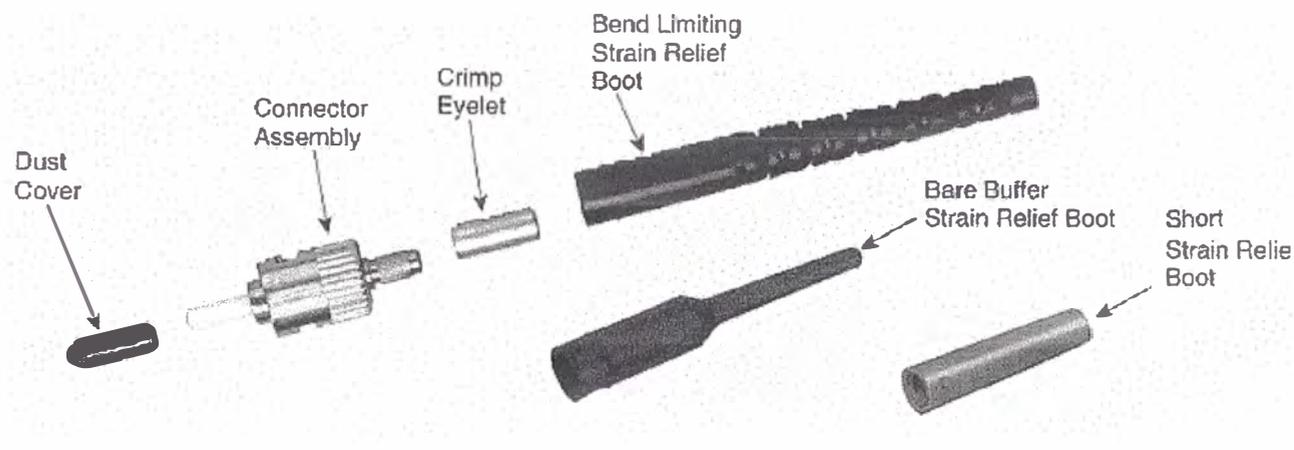
Polymer Composite: <.20dB after 500 cycles

Ceramic: <.20dB after 1000 cycles

**Storage Temperature Range:**

-40° to +85°

## ST Style Connectors



### Product Facts

- High performance multimode and singlemode ST compatible connectors.
- Quick cure epoxy type
- Pre-radiused PC finish

## Coupling Receptacles

- Free-hanging or panel mount design
- Singlemode and multimode

## Active Device Mounts

- Designed to accept multimode TO-18, TO-46, and TO-52 active devices
- Nickel plated, die cast zinc
- Mount to PCB or through panel
- Includes positioning ring

# FSMA Products



## FSMA Connectors

### Product Facts

- Multimode
- Industry compatible with 905 (FSMA-I) and 906 (FSMA-II) style connectors
- Terminates fiber sizes from 125 through 1000 microns in diameter
- Design parameters conform to NATO and IEC interface standards

## Performance Characteristics

**Insertion Loss:** 1.5 dB typical

**Temperature Range:** -55°C to +105°C

**Durability:** 200 mating cycles

FSMA Termination Kit 503746-2

## Adapter Features

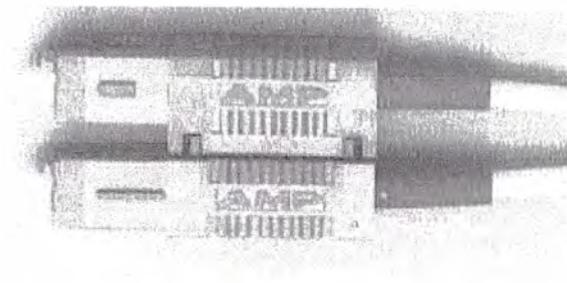


- Precision mating adapter for all SMA connectors
- Available in 3 styles
- In-line splice or panel mount design

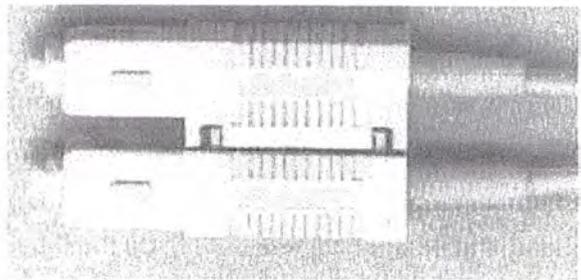
# AMP SC Connector Products

## General Information

### AMP SC Connectors



**Singlemode Duplex SC**



**Multimode Duplex SC**

### Product Facts

- Multimode and singlemode
- Compliant with Bellcore 326
- Field installable
- PC finish
- Compatible with all SC connectors
- Zirconia Ceramic Ferrule
- Compliant with:
  - JIS C-5973 Standard
  - TIA 568 Fiber Channel

All AMP Simplex SC connectors are compatible with NTT SC connectors and are made under license of NTT. AMP SC connector products provide high performance and ease of use. All allow simple field or factory termination in a minimal amount of time. A pre-radiused tip makes PC polishing simple, without expensive polishing equipment.

## Performance Specifications

### Singlemode

Insertion Loss: 0.2 dB typical

Return Loss: <-55 dB typical

Temperature Range: -40°C to +75°C

Durability: < 0.2 dB change after 500 cycles

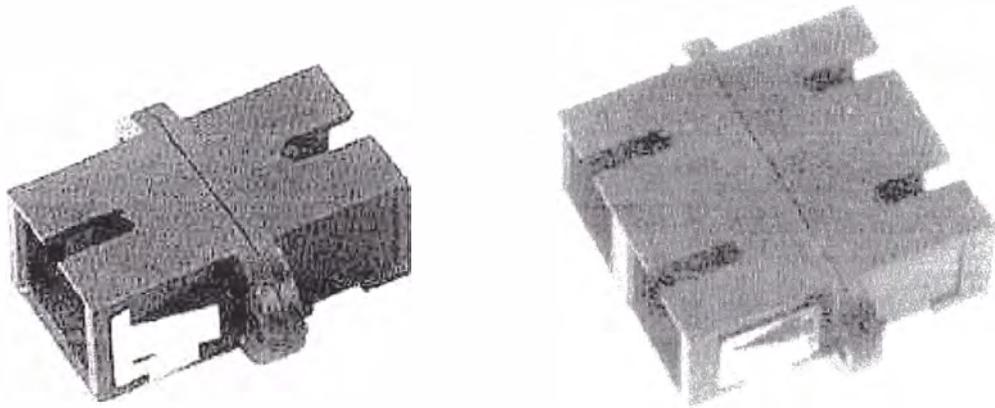
### Multimode

Insertion Loss: 0.3 dB typical

Temperature Range: -40°C to +75°C

Durability: < 0.2 dB change after 500 cycles

## AMP SC Adapter



AMP SC Simplex Coupling Receptacle AMP SC Duplex Coupling Receptacle

## Product Facts

- Suitable for any SC Type Connector
- Available with metal or ceramic alignment sleeves
- Choice of housing colors
- Duplex Adapters accept two Simplex Connectors or one Duplex Connector
- Assortment of hybrid configurations available
- Most adapters can be used for Singlemode or Multimode (unless specified otherwise)
- Mounting screws available

**ANEXO D**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FABRICANTES**

## **D.1 Especificaciones de fibra óptica.**

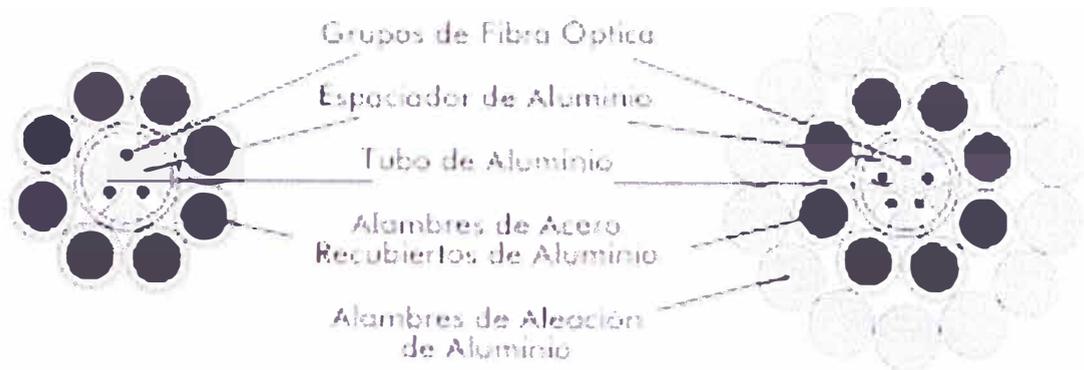
Los fabricantes de cables de fibra mas conocidos en nuestro medio son Lucent Technologies, Alcatel, BICC, y FOCAS; las especificaciones mas importantes que nos debe proporcionar el fabricante de cables de fibra para tendido aéreo en redes de alta tensión son:

- tipo fibra; características de transmisión, atenuación, dispersión cromática.
- Tipo de recubrimiento, tubo holgado, tubo apretado, o break out.
- Código de colores.
- Tipo de cubierta del cable.
- Peso del cable.
- Carga máxima de rotura.

Características eléctricas. (Resistencia de cortocircuito en caso de OPGW, campo eléctrico máximo en caso ADSS, etc.).

En las láminas de las páginas siguientes se muestran especificaciones de algunos fabricantes de cables de fibra óptica.

## PFISTAR™ Especificaciones y Características



Dimensión Nominal del Cable	mm <sup>2</sup>	60	185
-----------------------------	-----------------	----	-----

Alambres de

Acero recubiertos de aluminio

no./mm

8/3,2

8/4,1

Aleación de aluminio

no./mm

14/4,1

Diámetro del tubo de aluminio

mm

5,0

6,5

Diámetro total del cable

mm

11,4

22,9

Peso nominal

kg/km

475

1284

Resistencia mínima a la tensión

kgf

7.920

17.400

Módulo de elasticidad

kgf/mm<sup>2</sup>

15.800

10.150

Coefficiente de Expansión Linear

°C

13,0 x 10<sup>-6</sup>

17,1 x 10<sup>-6</sup>

Conductividad del Acero Recu. de Alum

%IACS

20,3

20,3

Resistencia DC a 20°C

ohms/km

1,35

0,133

Capacidad de corriente por falla

kA<sup>2</sup>s

16

544

Tipo

Monomodo

Monomodo con dispersión desfasada

Atenuación Máxima dB/km

1300 nm

0,40

0,45

1550 nm

0,25

0,25

Atenuación Típica dB/km

1300 nm

0,35

0,39

1550 nm

0,19

0,21

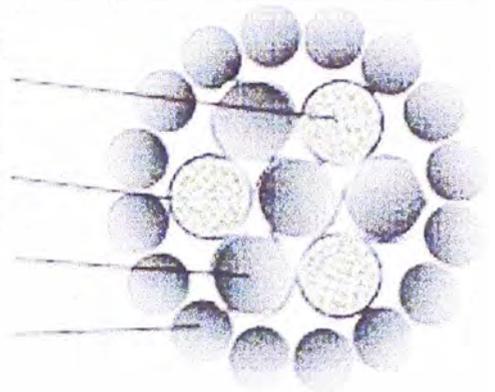
## PFILUX™ Especificaciones y Características

Fibras con Recubrimiento Curado con Rayos UV

Unidad Óptica Sellada Dentro de Tubo de Acero Inoxidable

Alambres de Acero Recubiertos de Aluminio

Alambres de Acero Recubiertos de Aluminio o de Aleación de Aluminio



	Métrico	Imperial		
Dimensión Nominal del Cable	88mm <sup>2</sup>	0,136 pulg <sup>2</sup>		
<b>Alambres</b>				
Acero Recub. de Alum.	((4 x 3,78)+[2 x 2,65])mm	((4 x 0,149")+[2 x 0,104"])		
Aleación de Aluminio	14 x 2,65mm	14 x 0,104"		
Diámetro Total del Cable	16,64mm	0,655"		
Peso Nominal	763 kg/km	0,513 Lb/ft		
Resistencia Min. a la Tensión	8.800 kgf	19.400 lbs.		
Módulo de Elasticidad	10.700 kgf/mm <sup>2</sup>	15.200 kpsi		
Coefficiente de Expansión Lineal	16,3 x 10 <sup>-6</sup> /°C	9,1 x 10 <sup>-6</sup> /°F		
Resistencia CD a 20°C	0,34 ohms/km	0,104 ohms/kft		
<b>Atenuación de la Fibra en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Monomodo Sin Dispersión Desfasada</b>	<b>Monomodo Dispersión Desfasada</b>	<b>Monomodo con Dispersión Real Desfasada</b>
1310 nm	dB/km	0,40		0,50
1550 nm	dB/km	0,30	0,25	0,25

## PFILUX CENTRUM™ Especificaciones y Características



		Métrico	Imperial	
Dimensión Nominal del Cable		65mm <sup>2</sup>	0.100 pulg <sup>2</sup>	
Alambres de Acero Recubiertos de Aluminio		6 x 3.70 mm	6 x 0.142"	
Diámetro Total del Cable		11.00 mm	0.433"	
Peso Nominal		534 kg/km	0.359 lb/ft	
Resistencia Mínima a la Tensión		7.300 kgf	16.100 lbs	
Modulus of Elasticity		16.500 kgf/mm <sup>2</sup>	23.450 kpsi	
Coeficiente de expansión lineal		12.6 x 10 <sup>-6</sup> /°C	7.0 x 10 <sup>-6</sup> /°F	
Resistencia CD a 20°C		0,78 ohms/km	0,238 ohms/kft	
Capacidad de Corriente de Cortocircuito		25 kA <sup>2</sup> s	25 kA <sup>2</sup> s	
Atenuación de Fibra a	Unidad	Monomodo Sin Dispersión Desfasada	Monomodo con Dispersión Desfasada	Monomodo con Dispersión Real
1310 nm	dB/km	0,40		0,50
1550 nm	dB/km	0,30	0,25	0,25



STARWay



- STARWay
- OPGW
- ADSS**
- AD-Lash
- Accessories



## ADSS *All Dielectric Self-Supporting Cable*



### Design

**Optical element:** Central polymer buffer tube, containing single fibers or fiber bundles in a filling compound

**Strength members:** Aramid yarns

**Outer sheath:** MDPE (up to 110 kV) or special tracking resistant material

### Features

**Central buffer tube design together with aramid yarns provides**

- optimum protection of the fibers in case of extreme cable elongation
- less additional loads on towers due to the low weight and small outer diameter of the cable
- a wide range of fiber count within the same cable type

**The special tracking resistant outer sheath** guarantees best protection against tracking currents and dry band arcing at high voltages.

**Antistatic elements inside the cable**



reduce the voltage that generates tracking corrosion.

**Double safety against tracking corrosion**



« STARWay

**OPGW**

ADSS

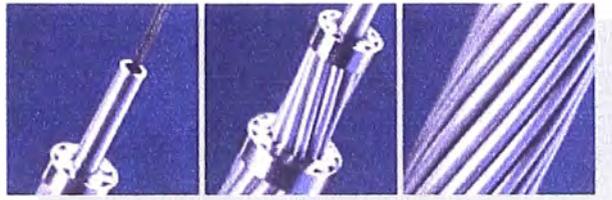
AD-Lash

Accessories



## OPGW / OPPC

*Optical Ground Wire / Optical Phase Conductor*



### Design

**Optical element:** Central aluminium buffer tube, containing single fibers or fiber bundles in a filling compound

**Armoring:** Single or multi-layer design; round wires of Al-alloy and Al-clad steel or galvanized steel

### Features

## Features

### Central buffer tube design provides

- Optimum protection of the fibers against
  - mechanical stresses and lightning

High reliability & long lifetime
- less additional loads on towers due to the low
  - weight and small outer diameter of the cable

Protection of the towers
- a wide range of fiber count within
  - the same cable type

Flexibility

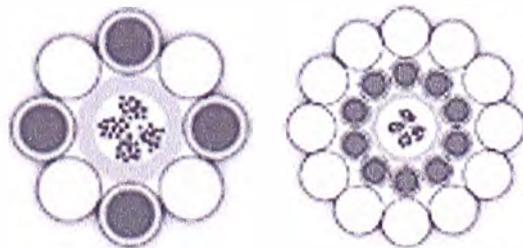
## Experience

20 years design and manufacturing

Worldwide 12,000 km cable-km installed or under contract

Solutions even for extreme operational conditions

© Corning Cable Systems GmbH & Co. KG, D-81303 Munich,





**Lightning Strike**



**Installation  
in China**



**Suez Canal  
Crossing**



- « STARWay
- OPGW
- ADSS
- AD-Lash**
- Accessories



## AD-Lash All Dielectric Lashed Cable



### Design of AD-Lash Cable

**Optical element:** Central polymer buffer tube, containing single fibers or fiber bundles in a filling compound

**Outer sheath:** PE sheath, containing two small aramid yarns as dielectric strength members

small and lightweight cable

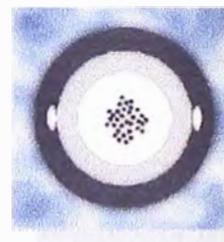
### Features of AD-Lash Technology

**Central buffer tube design provides**

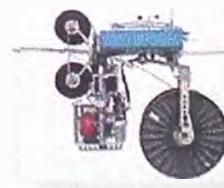
- less additional loads on messenger wire and towers
- long installation length

**Lashing the cable means**

- small loads during installation
- no permanent torsion forces on the cable
- protection of cable by messenger wire



**Live-line Installation**



**Radio Controlled Lashing Machine**

- protection of cable by messenger wire
- trolley access for maintenance purposes

### **Very fast and cost effective installation process**

### **AD-Lash Installation Technology**

Lightweight installation machines

- Easy transportation and transfer at the towers
- Extremely fast installation by helicopter
- Additional services by helicopter:
  - Survey and maintenance

### **Experience in AD-Lash**

- 5 years in AD-Lash technology
- Worldwide 3000 cable-km installed or under contract
- Fast and cost effective solution

## **D.2 Especificaciones de equipos en nodos**

Los equipos a especificarse son equipos multiplexores Add and Drop, configurados de acuerdo a las necesidades del diseño, nos interesa principalmente las especificaciones de los transmisores y receptores ópticos, así como amplificadores de fibra.

Las especificaciones deberán contener información de la longitud de onda de transmisión, anchura espectral, potencia óptica entre otros, además de la velocidad digital.

A continuación se presentan especificaciones de alguno de ellos.

	Range of attenuation	dB	0-12	10-28	10-28
	Maximum dispersion	ps/nm	96	185	NA
	Minimum return loss of the optical fiber (including any movable joint) at point S	dB	NA	NA	20
	Maximum dispersion reflection coefficient between SR points	dB	NA	NA	-25
Features of the receiver at point R	Minimum sensitivity	dBm	-28	-34	-34
	Minimum overload point	dBm	-8	-10	-10
	Maximum price of optical channel	dB	1	1	1
	Maximum reflection coefficient of receiver at point R	dB	NA	NA	-25

## 2.5 System specifications

### 2.5.1 Optical interface specifications: in accordance with G.957 standards

Table STM-1 Parameter Specifications of Optical Interface

Item		Unit	Numerical value			
Nominal bit rate		kbit/s	STM-1 155520			
Type number			S-1.1	L-1.1	L-1.2	
Range of work wave length		nm	1261-1360	1280-1335	1480-1580	
Feature of generator at point S	Type of lamp-house		MLM	MLM <sup>+</sup>	SLM	SLM
	– maximum RMS spectrum width ( )	nm	7.7	4	–	–
	– maximum – dB spectrum width	nm	–	–	1	1
	– minimum rejection ratio of the side modular	dB	–	–	30	30
	Average transmitting power					
	– maximum average transmitting power	dBm	–8		0	0
	– minimum average transmitting power	dBm	–15		–5	–5
	Extinction ratio	dB	8.2		10	10

## BIBLIOGRAFIA

1. Optical Fiber Communications : Principles and Practices  
John Senior
2. Fiber Optic Systems. Network Application  
John Wiley & Sons
3. Construction, installation, jointing and Proteccion of Optical Fibers Cables  
UIT
4. Comunicaciones por Fibra Optica  
Raimundo Diaz de La Iglesia
5. Introducción a la Fibra Optica y el Laser  
Edward Safford
6. Optical Fibers for Transmission  
John Wiley & Sons
7. Telecomunicación a Través de Fibras Opticas  
Juan Bedmar Izquierdo
8. Comunicaciones Opticas  
José Martín Sanz
9. Optical Fiber Comunciations  
Gerd Keiser
10. Introducción a la Ingeniería de la fibra Optica  
Baltazar Rubio Martinez
11. Ingeniería de Fibra Optica  
Eduardo Belleza Zamora