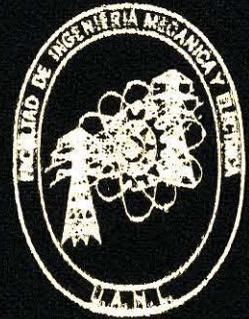


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



SISTEMAS DE COMUNICACIONES
A TRAVES DE FIBRAS OPTICAS

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

MIGUEL ANGEL RIVAS LOPEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. JULIO DE 1999

T
TK5103
.59
R5
1999
c.1

SISTEMAS DE COMUNICACIONES
A TRAVES DE FIBRAS OPTICAS

M. A. R. I.



1080097031

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



SISTEMAS DE COMUNICACIONES
A TRAVES DE FIBRAS OPTICAS

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA
MIGUEL ANGEL RIVAS LOPEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. JULIO DE 1999



CON NUMERO DE LIC. CAD70 NI

T
TK5103

.59

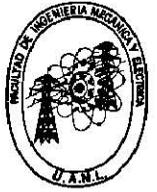
R5

1999

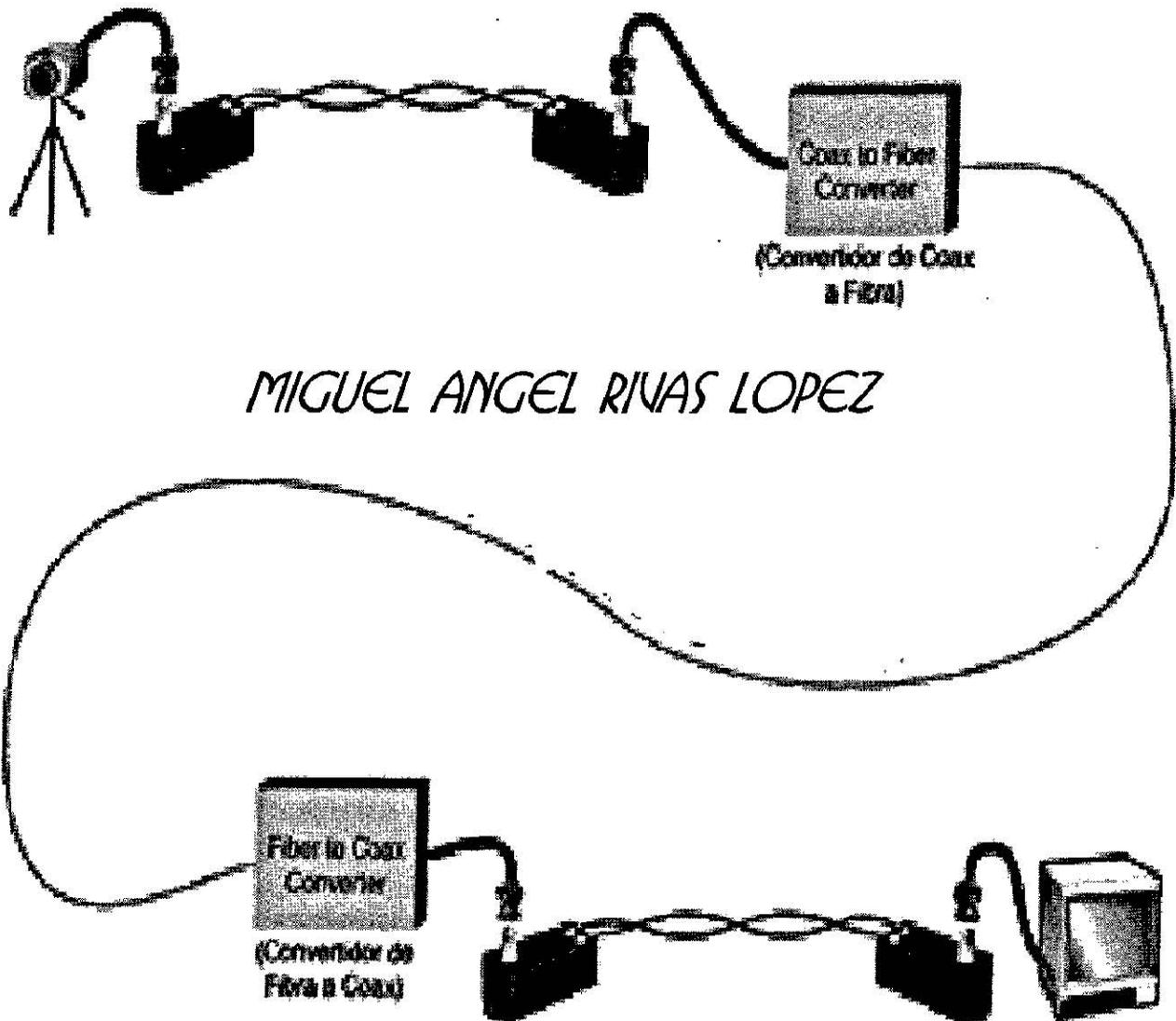




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



SISTEMAS DE COMUNICACIONES A TRAVÉS DE FIBRAS ÓPTICAS



MIGUEL ANGEL RIVAS LOPEZ

INDICE

Prólogo

Introducción

Capítulo I Historia de la Fibra Optica

Historia de la Fibra Optica.	1
-----------------------------------	---

Capítulo II Generalidades

- Teoría Básica de Operación y Definición	3
- Ventajas y Desventajas de la Fibra Optica	6
- Aplicaciones	9
- Construcción	11

Capítulo III Características

- Tipos de Fibra Optica	21
- Capacidad de Transmisión	23
- Dimensiones	24
- Naturaleza Ondulatoria de la Luz	25
- Propagación de la Luz	25
- Leyes de la Reflexión	26
- Leyes de la Refracción	27
- Índice de Refracción	30
- Apertura Numérica	31
- Modos de Propagación	32
- Pérdidas de Transmisión	33
- Señales de Distorsión.....	35

Capítulo IV Dispositivos para la Emisión y la Detección de la Luz

- Fotoemisores	36
- Transmisor	42
- Acoplamiento Mecánico	43
- Fotodetectores	44
- Receptor	47
- Acoplamiento Mecánico	47

Capítulo V Empalmes y Conectores

- Pérdidas Extrínsecas en las uniones	50
- Tres Tipos Principales de Desalineamiento	51
- Pérdidas Intrínsecas	52
- Empalmes	53
- Empalmes mecánicos	53
- Empalmes de fusión	54
- Tabla de pérdidas	56
- Conectores	57
- Procesos de Conectorización	58

Capítulo VI Instrumentos de Medición

- Equipo de Medición	63
- Medidor de Potencia Optica	63
- Multímetro Optico.	64
- Ohmetro Optico.	64
- Reflectómetro Optico en el Dominio del Tiempo (OTDR)	64

Capítulo VII Diseño de Sistemas de Comunicación con Fibras Ópticas

- Elementos de un Sistema de Comunicación	67
- Elementos de un Sistema de Comunicación con Fibras Ópticas.	67
- Requisitos para el diseño con Fibras Ópticas	68
- Técnicas de Multiplexaje	70
- Sistemas de Comunicación entre un Módem óptico y una estación terrena...72	

Capítulo VIII RDI

- Introducción	73
- Estructura de la Red	73
- Infraestructura por nodos	74
- Jerarquía de nodos TELMIC.	74
- Conexiones de usuarios.	75
- Infraestructura de transmisión local.	76
- Centros de Control y Mantenimiento.	76
- Infraestructura de Transmisión de larga distancia.	77
- Red Satelital.	77
- Red de Conmutación de Paquetes.	81
- Sistema de Interconexión y Acceso Digital (DACS)	82
- Implementación	73
- Tecnología Utilizada por la RDI.	85
- Sistemas de Transmisión.	85
- Sistemas Opticos.	85
- Características de los Cables.	86
- Sistema de Radio Digital.	87
- RDI Área Metropolitana de Monterrey.	88
- Equipos de Conmutación.	90
- Series numéricas de la red RDI Monterrey	91
- Equipos de Transmisión.	91

Capítulo IX Progreso en la Tecnología de Fibras Ópticas y su Implementación en el Futuro de las Redes de Telecomunicaciones

- Abstracto.	93
- Introducción.	93
- Impacto en las Redes de Telecomunicaciones.	95
- La Nueva Generación de Tecnología.	95
- Tecnología de Ultra alta velocidad en Transmisiones de Larga Distancia.	95
- Tecnología de Transmisión Coherente de Luz.	96
- Tecnología de Procesamiento de Señales Ópticas.	97

Bibliografía	100
-------------------------------	------------

PROLOGO

La presente curso “Sistemas de Comunicación a través de Fibras Opticas” pretende aportar el concepto propio de estos contemporáneos y renovadores dispositivos nacidos de la necesidad del área de las comunicaciones.

Las fibras ópticas nos proporcionan uno de los medios más actuales de comunicación, cuyo desarrollo ya vislumbra grandes perspectivas de esta tecnología.

Esta tesis no pretende hacer una obra demasiado científica ni abstracta sino que nos presenta los fundamentos para una mejor comprensión en este campo.

INTRODUCCION

Al considerarse la naturaleza, generación y las aplicaciones de la luz , también debe considerarse la aplicación de la luz en la transmisión de información de un lugar a otro.

El uso de luz como portadora de información tiene varias ventajas sobre señales portadoras de información en R.F., tales como un mayor ancho de banda y la inmunidad a la interferencia electromagnética.

Las fibras ópticas son una solución a muchos de los problemas que se presentan en el envío de información a través de los medios de transmisión atmosférica.

CAPITULO I

HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA

Desde el inicio de los tiempos la comunicación entre los seres vivos ha sido indispensable, tanto para la subsistencia individual como para la propia especie. Hoy en día las telecomunicaciones engloban a todos aquellos sistemas, equipos y métodos que facilitan la transmisión de información, generalmente por métodos electrónicos .

A continuación se describe cronológicamente como ha sido el desarrollo que se ha tenido en el campo de las fibras ópticas:

- 1870 Tyndall demostró que la luz podía ser conducida dentro de un chorro de agua.
- 1880 Alexander Graham Bell estudió la posibilidad de transmitir la palabra en un rayo de luz.
- 1910 Hondros y Debye estudian el aspecto de la guía de onda dieléctrica.
- 1920 Shriever experimenta con la guía de onda dieléctrica.
- 1934 Norman Frech hizo el primer intento de conducir la luz con fines de aplicación , en Estados Unidos. Construyó un teléfono óptico y logra transmitir audio a distancias muy cortas utilizando barras de vidrio rígidas.
- 1954 Van Heel, Hopking y Kapany desarrollan la guía de onda dieléctrica recubierta.
- 1958 A. Schalow y C.H. Towne inventan el rayo láser.
- 1959 T. Malman desarrolla la primera aplicación del láser en HUGHES RESEARCH LABORATORIES.
- 1962 Se desarrollan el LASER semiconductor y fotodiodos semiconductores.
- 1960's Experimentos de ondas de luz para transmisión en telecomunicaciones.
Charles Kad y G. Hokman sugieren que se utilice la fibra óptica como medio de comunicación . Para esto debería de lograrse una atenuación de 20 db/Km contra los 1000 db/km que se tenían en el año de 1966.

- 1970 La firma Corning Glass Work obtiene una fibra con atenuaciones de 20 dB/km.
- 1971 Desarrollo del láser de onda continua.
- 1972 El nivel de atenuación de la fibra fabricada entonces llegó a alcanzar valores de 4 dB/km. Desarrollo de fibras con núcleo líquido.
- 1973 Corning desarrolla fibra óptica con atenuación de 2 dB/km.
- 1976 Se instala en Alemania una red de Servicios Integrados (ISDN), con cobertura de 2.1 km.
- 1977 MIT desarrolla una fibra con 0.2 dB/km. Experimentos prácticos en Canadá por Bell-Northern.
- 1989 Se ha logrado fabricar Fibra Optica con niveles de atenuación muy bajos , del orden de 0.16 dB/km y con perfiles de índice de refracción excelentes, lográndose por consecuencia, anchos de banda muy grandes.

Todos estos logros se deben al desarrollo acelerado en el área de fibras ópticas, en el que se encuentran comprometidos los principales fabricantes de equipos de telecomunicaciones en el mundo.

Las características de los elementos que forman el sistema de fibras ópticas no solamente han alcanzado valores óptimos de rendimiento propuestos por laboratorios de investigación, sino que son capaces de satisfacer exigentes requisitos físicos y de confiabilidad para aplicaciones que soporten el crecimiento de las telecomunicaciones.

CAPITULO II

GENERALIDADES

TEORIA BASICA DE OPERACION Y DEFINICION

Las fibras ópticas pueden ser definidas como una rama de la óptica con división en la comunicación, para la transmisión de la luz y frecuencias infrarrojas generadas por un LASER o LED'S a través de fibras transparentes de vidrio o de plástico.

Las fibras ópticas son filamentos generalmente en forma cilíndrica, que consisten en un núcleo de vidrio y un revestimiento de vidrio o plástico.

NUCLEO (CORE)

Es la sección a través de la cual viaja el haz de luz.

REVESTIMIENTO (CLADDING)

Es la capa que rodea al núcleo. Su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra atrapándola en el núcleo. Ver figura. 2.1

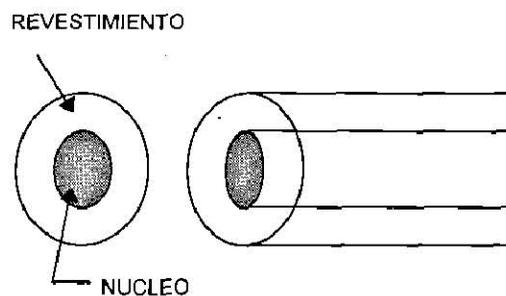


figura 2.1 Núcleo y Revestimiento una Fibra Optica

Tanto el núcleo (core) como el revestimiento (cladding) están conformados de ambos vidrio o plástico. Con la combinación de estos materiales se forman tres tipos de Fibra Optica:

- a) Núcleo de plástico con revestimiento de plástico,
- b) Núcleo de vidrio con revestimiento de plástico,
- c) Núcleo de vidrio con revestimiento de vidrio.

En el caso del plástico, el núcleo puede ser de polietileno o poliometil metacrílico; es generalmente silicón o teflón.

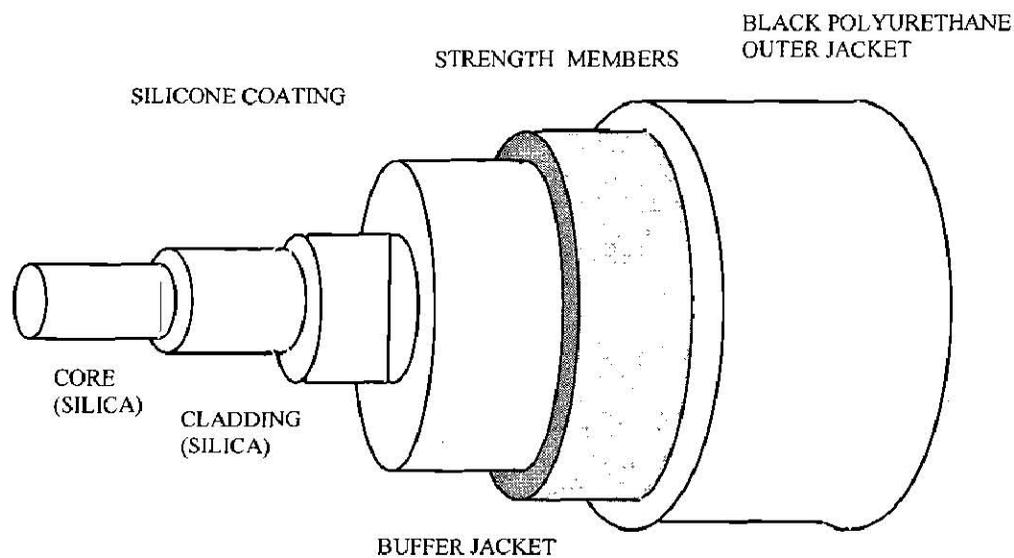


Figura 2.2 Componentes de una Fibra Optica.

El vidrio está constituido básicamente de sílica, la cual es encontrada en arena. Para la fabricación de la fibra óptica la sílica debe ser extremadamente pura; agregando pequeñas cantidades de partículas de boro, fósforo y germanio es posible cambiar el índice de refracción de la fibra. El óxido de boro se añade a la sílica para formar el borosilicato de vidrio que se utiliza en algunos revestimientos.

En comparación con el vidrio las fibras de plástico son mas económicas y flexibles. Además son mas fáciles de instalar y conectar, resisten grandes tensiones en comparación con las fibras de vidrio. Como desventaja principal está la mala transmisión de la luz, esto ocasiona grandes pérdidas por lo que se recomienda el uso del vidrio para el núcleo de la fibra.

En un sistema de fibras ópticas, se unen tres partes para llevar a cabo esta tarea de comunicación: una fuente de luz (transmisor), una fibra óptica y un detector de luz (receptor). La fuente de luz puede ser de un diodo semiconductor láser o de un diodo emisor de luz (LED). Las fibras ópticas pueden ser de un tamaño corto como 1m. o uno largo como de 10 km. El detector de luz puede ser un fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative) o un APD (Avalanche Photodiode). Cada uno de estos dispositivos se discutirá mas adelante.

Un sistema de Fibras Ópticas simple, convierte una señal eléctrica a una señal de luz dentro de una fibra óptica o entonces captura la señal en el final cuando es reconvertida en una señal eléctrica.

Son dos los tipos de modulación de onda posibles: Analógica y Digital. En la modulación analógica la intensidad de la luz irradiada por el láser o el LED es variablemente continua. La modulación digital es de forma contraria.

La intensidad es cambiada impulsivamente de un modo ON/OFF, al transmitir luz ON y OFF es una velocidad extremadamente rápida. El modelo mas típico de modulación de pulsos es el PCM (Pulse Code Modulation).

La modulación digital es mas popular ya que permite una transmisión a una gran distancia con el mismo poder de modulación analógica.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

Las ventajas más notables son aquéllas derivadas del gran ancho de banda y de las bajas pérdidas de la fibra óptica. Existen otras ventajas motivadas por las propiedades físicas de la fibra óptica. Por ejemplo, la inmunidad a la interferencia inductiva o eléctrica, la cual la hace idónea para enlaces de telemetría o de datos en ambientes adversos. La tabla 2.1 nos muestra algunas propiedades y beneficios de la fibra óptica como guía de onda. A continuación se detallarán algunas de las cualidades de la fibra óptica

PROPIEDADES	BENEFICIOS
Bajas pérdidas	Menor número de repetidores
Alta anchura de banda	Bajo costo por canal
Pequeño tamaño, bajo precio y flexibilidad	Facilidad de instalación y transporte
Resistencia a las radiaciones	No precisa apantallamientos
Inmunidad a interferencias electromagnéticas y ausencia de radiaciones	Confiablez
Alta estabilidad con la temperatura	Viabilidad como medio de transmisión en condiciones climáticas adversas
Dificultad para captar sus emisiones	Seguridad
Material dialéctico	Aislamiento eléctrico y disponibilidad de materia prima

Tabla 2.1 Propiedades y Beneficios al utilizar una Fibra Optica

ELEVADO ANCHO DE BANDA

El empleo del láser y de los LEDS en la comunicación con fibra óptica abre una ventana del espectro electromagnético en frecuencias 10 mil veces superiores a las mayores empleadas en las transmisiones de radio, ya que la capacidad potencial de información se incrementa de modo directamente proporcional a la frecuencia, el láser hace que sea posible transmitir 10^{14} bps.

BAJAS PERDIDAS

Puesto que intrínsecamente las pérdidas de las fibras ópticas son bajas (menos de 2.5 dB/Km. a 0.85 micrómetros y 0.5 dB/Km. a 1.3 micrómetros en las disponibles en el mercado) el distanciamiento entre repetidores resulta multiplicado en comparación con el exigido por los cables metálicos en condiciones de tráfico análogas. En la actualidad se han superado los 200 Km. entre los puntos de repetición en condiciones experimentales a velocidades de hasta 90 Mb/seg., y se han alcanzado mas de 161 Km. para 480 Mb/seg.

INMUNIDAD A LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA

La configuración de los campos electromagnéticos que se propagan en la fibra óptica es tal que, en la practica, se produce un completo aislamiento con el exterior. Así pues, las fibras ópticas no contribuyen a interferir en otros sistemas, y a la inversa, son inmunes a las interferencias originadas por otros portadores.

TAMAÑO Y FLEXIBILIDAD

Un cable de diez fibras ópticas puede tener un diámetro exterior de 8 a 10 mm y ofrecer la misma capacidad de información (aunque con menos repetidores) que un cable coaxial de 10 tubos y 8 cm de diámetro, o de 5 o 10 cables de 2000 pares de 0.8 mm. La diferencia de tamaño repercute en el peso y la flexibilidad del cable. Dado que el material de la fibra óptica es mas ligero el ahorro económico, de instalación, y transporte es mucho mayor.

AI SLAMI ENTO ELECTRICO

Las fibras proporcionan un total aislamiento eléctrico entre el transmisor y el receptor. Esto proporciona ciertas ventajas: no se precisa una tierra común para el transmisor y el receptor; puede repararse la fibra aunque los equipos no estén apagados; los cables de fibra pueden atravesar zonas con fuertes inducciones sin peligro de descarga eléctrica ni riesgo de que se originen corto circuitos.

SEGURIDAD

Puesto que las fibras ópticas no radian energía electromagnética la señal transmitida por ellas no puede ser captada desde el exterior. Algunas aplicaciones militares se basan en esta propiedad.

APLICACIONES

En la actualidad las fibras ópticas tienen toda una gama de aplicaciones. A continuación se mencionarán las más importantes.

CAMPOS DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
- Red de T.V. por cable.	Gran ancho de banda.
- Comunicaciones en instalaciones de energía eléctrica.	No hay interferencia electromagnética.
- Control de plantas nucleares.	Gran ancho de banda sin peligro de incendio y de interferencias electromagnéticas.
- Enlaces entre computadoras.	No existe interferencia electromagnética.
- Armas dirigidas.	Peso pequeño y de ancho de banda grande.
- Transmisiones secretas.	Sin radiación electromagnética.
- Sensores (Presión/Temperatura).	Alta sensibilidad.
- Medicina.	Perfeccionó el endoscopio, aparato que permite explorar el cuerpo humano.
- Redes telefónicas públicas.	Gran ancho de banda.
- Conexión telefónica entre islas por medio de cable submarino.	Gran ancho de banda y garantiza la comunicación aún en condiciones atmosféricas adversas.
- Automóviles.	Decrece el peso del cable e incrementa la velocidad de transmisión de signos al tablero.

Tabla 2.2 Campos de Aplicación y Características de las Fibras Ópticas

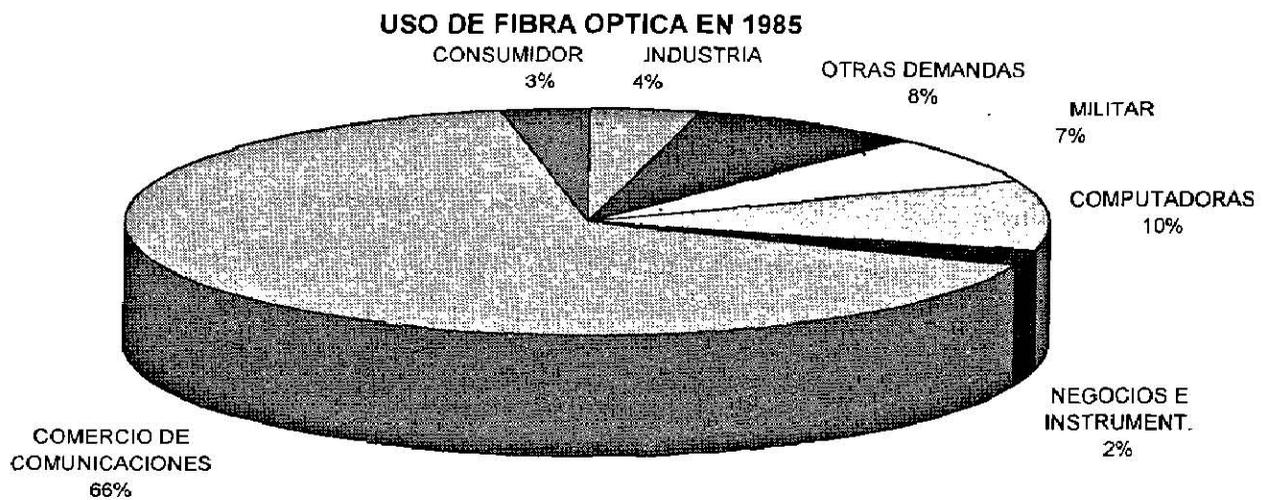
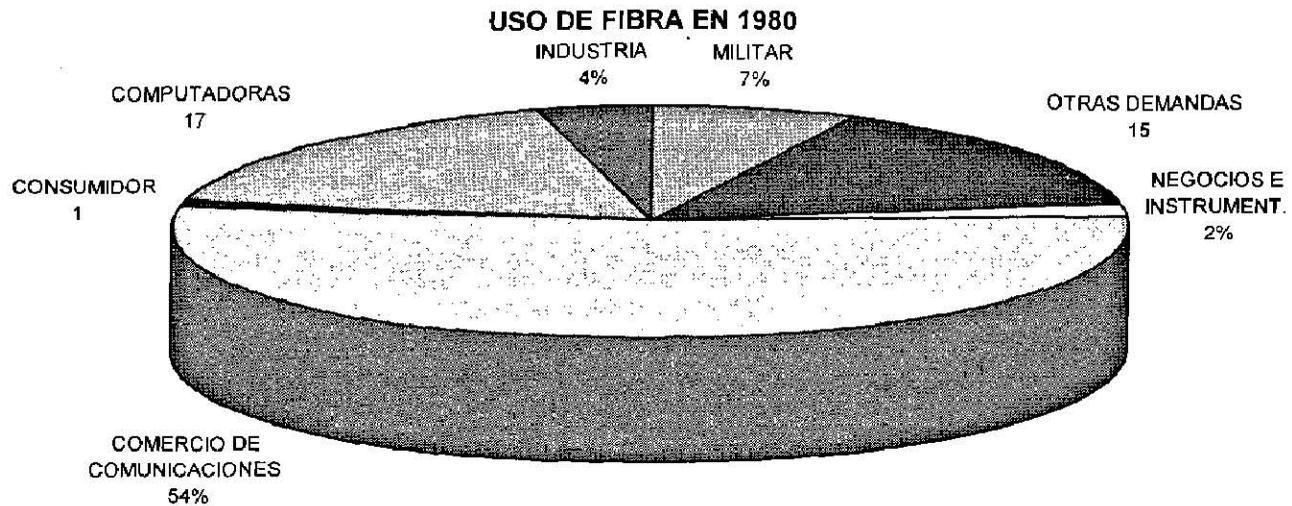


figura 2.3 Uso de las Fibras Opticas en los Ochentas.

USO DE LA FIBRA OPTICA EN 1990

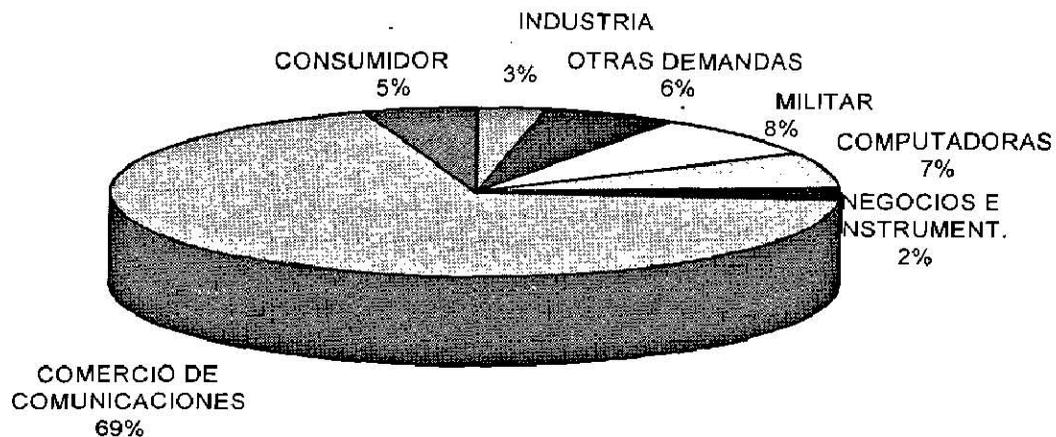


figura 2.4 Uso de la Fibra Optica en los Noventas

CONSTRUCCION

Para la fabricación de la fibra óptica, deben utilizarse materiales que cumplan con las características mecánicas y ópticas deseadas en la fibra. Dicho material debe satisfacer los siguientes requisitos:

1. Que pueda ser transformado en fibras largas, delgadas y flexibles.
2. Que sea transparente en una longitud de onda particular, para que la fibra conduzca eficientemente la luz.
3. Se deben escoger materiales físicamente compatibles entre sí, pero con pequeñas diferencias en sus índices de refracción.

Para la fabricación de las fibras ópticas de vidrio se utilizan básicamente dos técnicas:

- El proceso de deposición de vapores,
- El método de fusión directa

PROCESO DE DEPOSICION DE VAPORES

Este proceso tiene su aplicación en la industria de los semiconductores y del vidrio, se aplica por la pureza y limpieza que logran.

La deposición de vapores consiste en generar vapores de óxido de metales; estos vapores al ser calentados por un quemador de hidróxido forman un polvo fino de cuarzo dopado. Podemos mencionar una clasificación de dichos métodos:

1. Método de deposición modificada de vapores químicos.
2. Deposición externa de vapores químicos.

METODO DE FUSION DIRECTA O DE DOBLE CRISOL

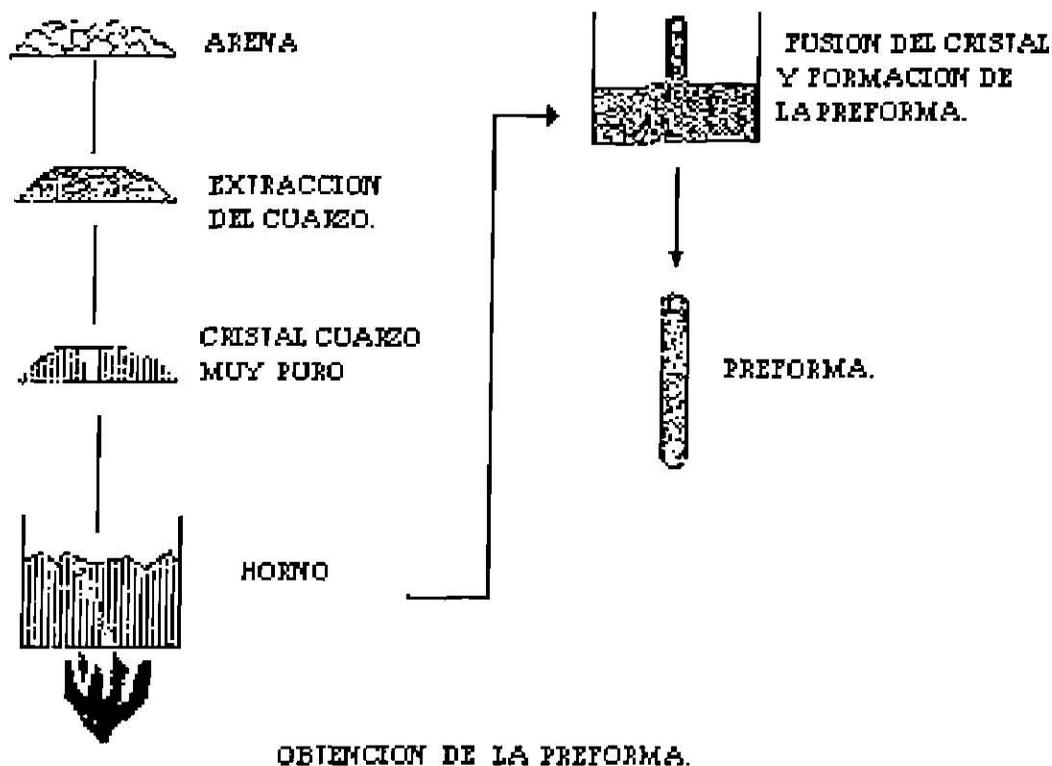
Este método sigue los procedimientos tradicionales de elaboración del vidrio, en los cuales la fibra óptica es hecha fundiendo directamente los componentes del vidrio.

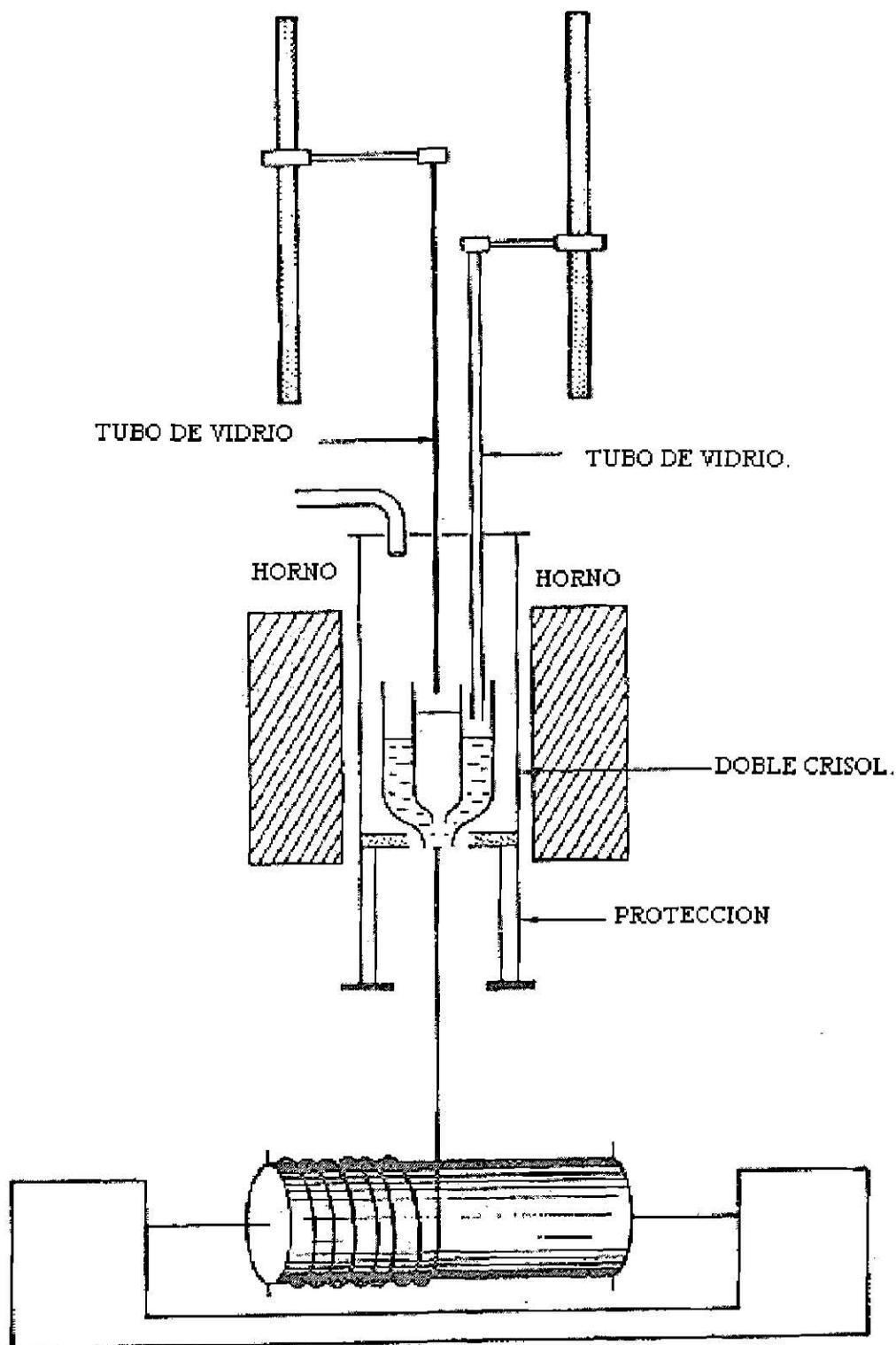
En el método de doble crisol, las varillas de vidrio para los materiales que forman el núcleo y revestimiento se elaboran por separado. Primero se procede con la mezcla de polvos de vidrio purificado, los cuales son fundidos en un crisol y agitados hasta formar una mezcla homogénea. Una varilla de alimentación se forma de una varilla semilla que se incorpora por inmersión al vidrio fundido y después se saca lentamente a través de un anillo enfriador. El vidrio sale después de la varilla semilla solidificándose para tomar una forma cilíndrica de 5 a 10 mm de diámetro y algunos metros de largo.

Para obtener fibras de índice gradual se desplaza la boquilla del crisol externo y así el vidrio del núcleo entra en contacto con el vidrio del revestimiento un poco antes de que se llegue al final de la boquilla del revestimiento desde donde se estira la fibra.

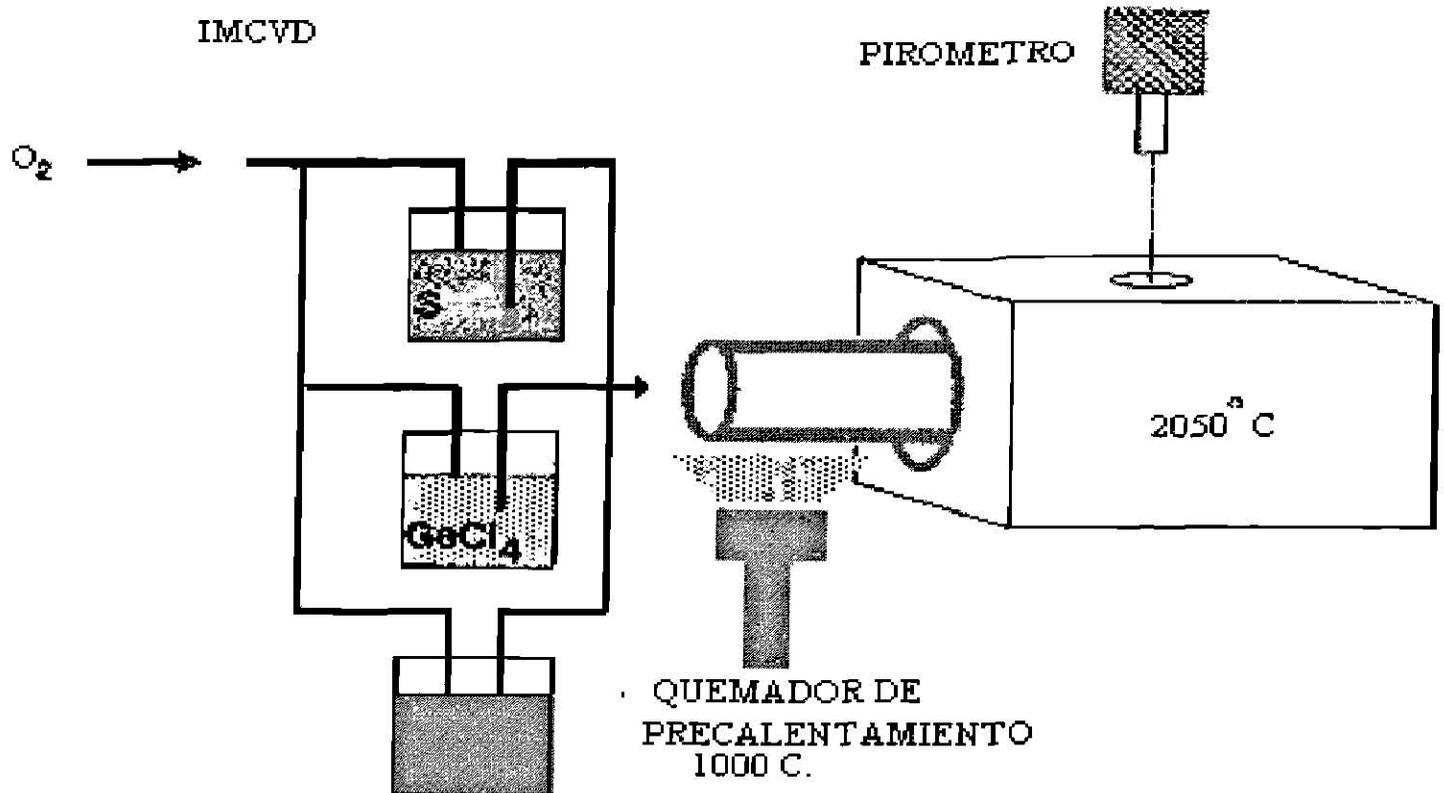
Por último la fibra pasa a la cubierta de la cubierta primaria y a su almacenado. Su producción alcanza varios cientos de metros por minuto.

Las siguientes figuras nos muestran los métodos de fabricación de la fibra óptica más comunes.





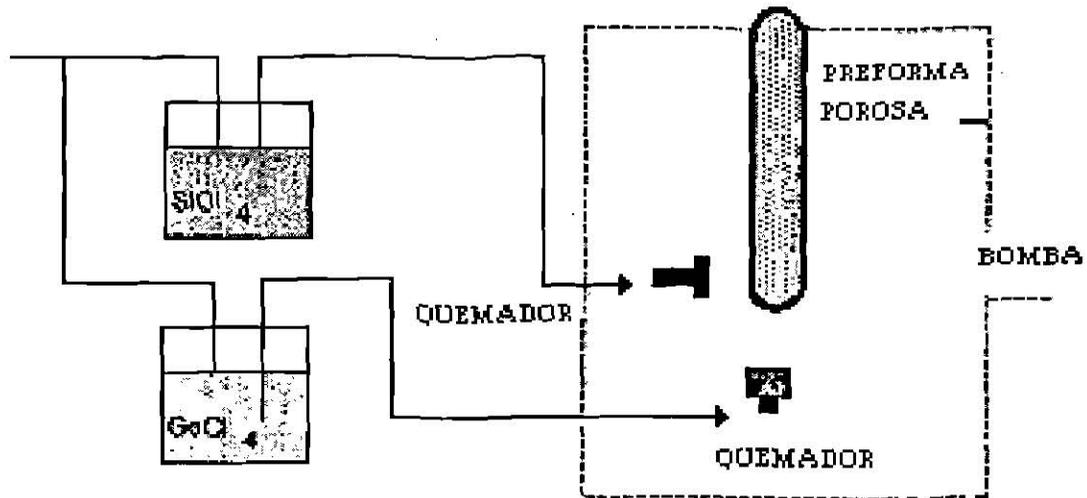
METODO DEL DOBLE CRISOL DE K.J. BEALES



Deposición de vapores Químicos por microondas.

Desarrollo	Ericsson.	Baja Contaminación
Temperatura Aplicada.	2050 grados.	Calentamiento homogéneo
Temperatura de Proceso.	1000 grados.	
Razón de deposición.	0.5 - 2.5 gm/min	
Número de Capas aplicadas.	100	
Atenuación.	$\ll 1$ db/km	
Longitud de la Preforma	70 cm	
Diámetro de la Preforma.	Variable.	
Longitud de Fibra Producida	hasta 50 km.	
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.	Proceso Discontinuo Requiere Tubo de Cuarzo. Preforma con orificio.

VAD

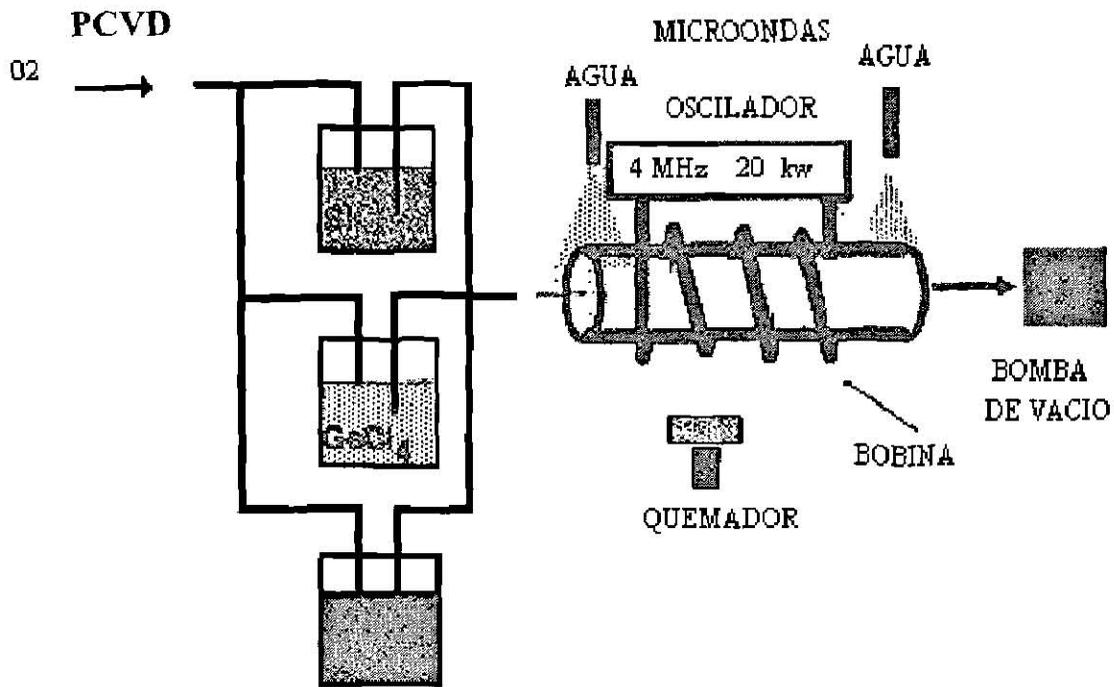


Método de Deposición axial de vapores químicos

Desarrollo	NTT
Temperatura Aplicada	1600 grados
Temperatura de proceso	1400 grados.
Razón de deposición.	3.0 gm/min
Número de capas aplicadas.	20 - 40 capas.
Atenuación.	< 1 db /km.
Longitud de la Preforma	ilimitada.
Diámetros de la preforma .	ilimitado.
Longitud de Fibra Producida.	ilimitada.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Proceso continuo
 Preforma sin orificio
 Bajo Índice OH
 No requiere Tubo
 Razón de Deposición constante

Dificultad de Control PIR
 Variaciones en Densidad del tizne.
 Dificultad en Control de
 circularidad.

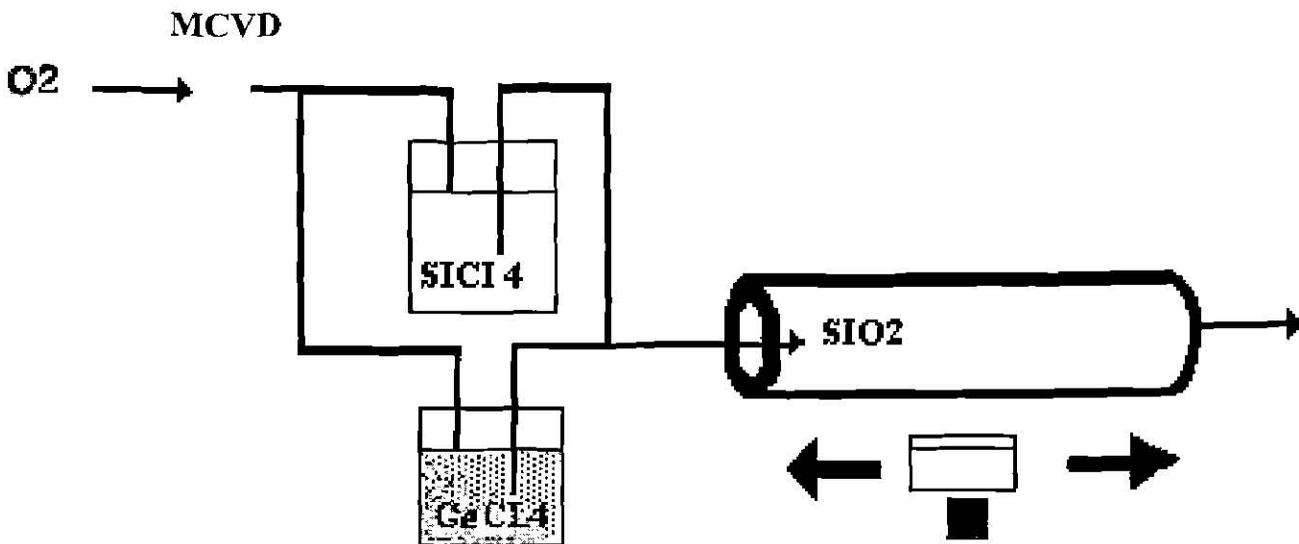


Método de Deposición de vapores por plasma de radio frecuencia

Desarrollo	Phillips
Temperatura Aplicada	2000 grados
Temperatura de proceso	1000 grados
Razón de deposición.	6 gm/min
Número de capas aplicadas.	1000.
Atenuación.	<< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	70 cm
Diámetros de la preforma .	60 mm
Longitud de Fibra Producida.	50 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Baja contaminación
Alta eficiencia de deposición

Proceso discontinuo
Requiere tubo de cuarzo
Preforma Limitada.
Preforma con orificio.
Proceso costoso.

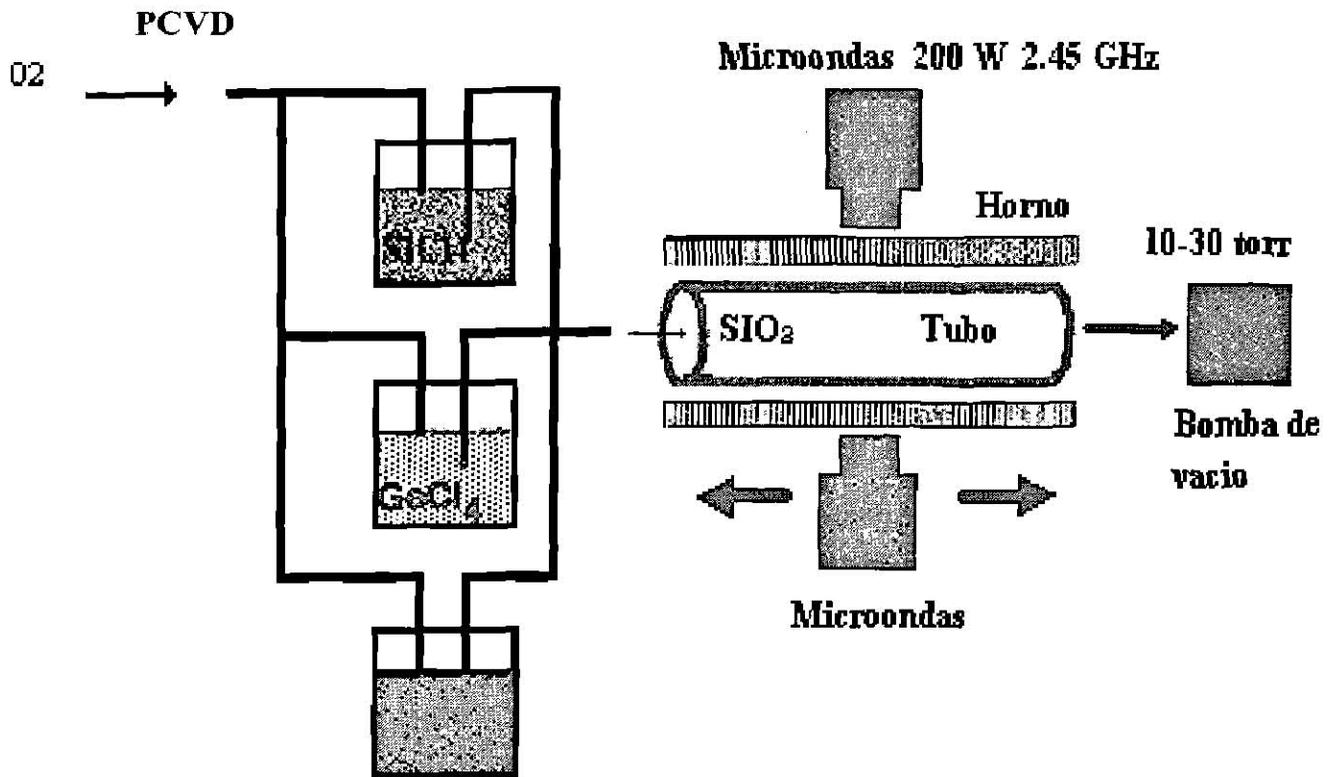


Deposición modificada de vapores químicos

Desarrollo	Bell laboratories
Temperatura Aplicada	1600 grados
Temperatura de proceso	1900 grados
Razón de deposición.	0.5-2.0 gm/min
Número de capas aplicadas.	50- 100.
Atenuación.	< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	60 cm
Diámetros de la preforma .	15 mm
Longitud de Fibra Producida.	8 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Baja contaminación.
 Elimina OH por barrera
 Flexible, versátil,
 Fácil de instalar
 Fácil control sobre el índice de refracción.

Proceso Discontinuo
 Requiere de Tubo de Cuarzo
 Baja eficiencia de Deposición
 Preforma de Tamaño limitado
 Preforma con orificio central.

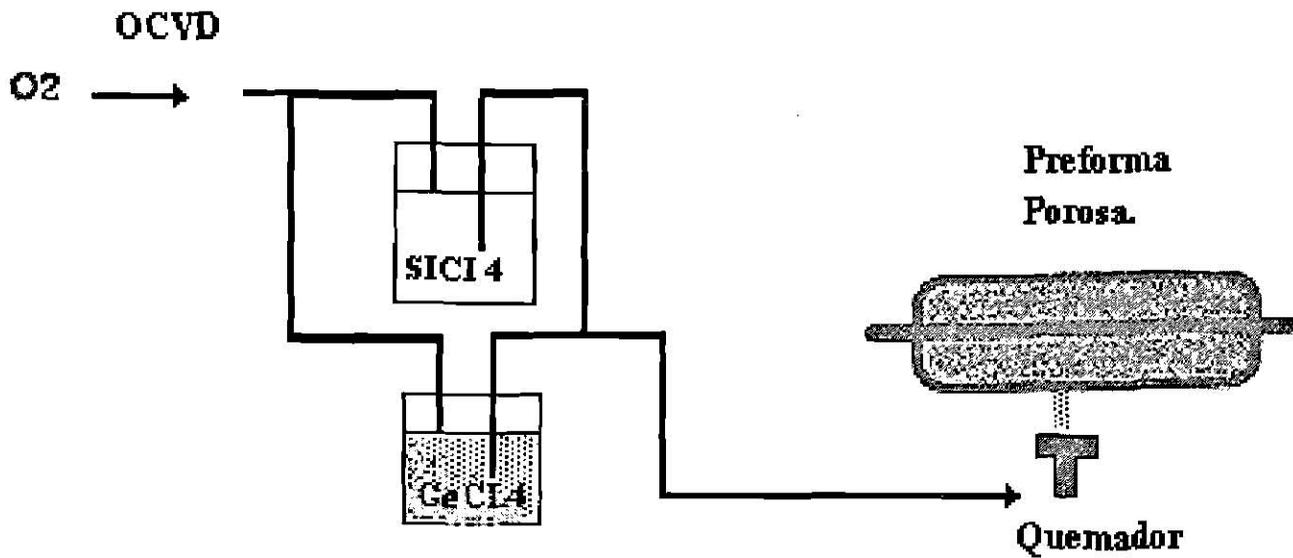


Método de Deposición de vapores por plasma

Desarrollo	Phillips
Temperatura Aplicada	2000 grados
Temperatura de proceso	1000 grados
Razón de deposición.	0.5-2.5 gm/min
Número de capas aplicadas.	2000.
Atenuación.	<< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	70 cm
Diámetros de la preforma .	20 mm
Longitud de Fibra Producida.	10 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Baja contaminación
Alta eficiencia de
Deposición .

Proceso Discontinuo
Requiere Tubo de Cuarzo
Preforma Limitada
Preforma con orificio
Proceso costoso.



Método de Deposición externa de vapores químicos.

Desarrollo	Corning Glass
Temperatura Aplicada	1500 grados
Temperatura de proceso	1800 grados
Razón de deposición.	2.5-5.0 gm/min
Número de capas aplicadas.	200.
Atenuación.	< 1 dB/km
Longitud de la Preforma	Limitado
Diámetros de la preforma .	No tiene limite.
Longitud de Fibra Producida.	50 km.
Tipo de Fibra Producida.	Mono y Multimodo.

Control sobre PIR
No se requiere tubo.
Preformas grandes.
Control sobre dimensiones

Proceso Discontinuo
Alta A.N
Control complejo de
Deposición.
Fibras con fracturas por
shock

CAPITULO III

CARACTERISTICAS

TIPOS DE FIBRAS OPTICAS

Las fibras ópticas son de dos tipos, monomodo y multimodo dependiendo de la forma de propagación que presenten.

- **MONOMODO**

Las fibras de tipo monomodo tienen un solo modo de propagación que permite que la luz viaje a todo lo largo del núcleo evitando la dispersión modal.

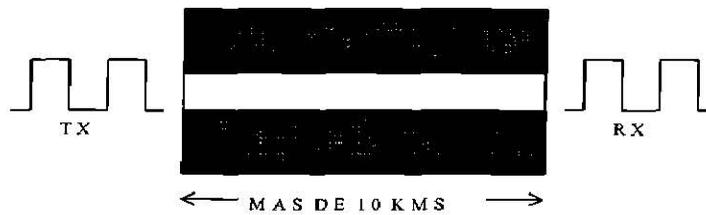


Fig. 3.1 Fibra Monomodo

- **MULTIMODO**

Las fibras de todo tipo multimodo pueden ser fibras de índice escalonado y fibras de índice gradual. A continuación explicaremos cada una.

1. FIBRAS DE INDICE ESCALONADO

El núcleo de estas fibras están constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice de revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso si ocurre dispersión modal donde a es el radio del núcleo.

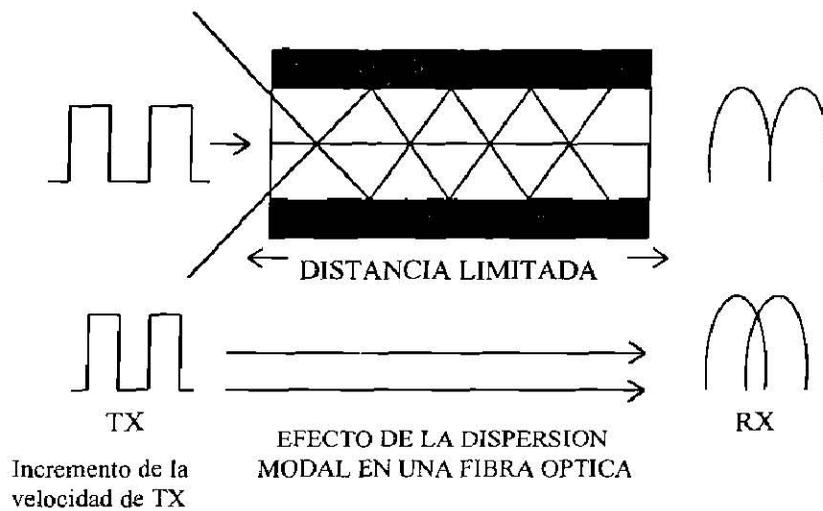


Fig.3.2 Fibra Multimodo de Indice Escalonado

Dispersión Modal

La dispersión modal en una fibra óptica es una característica despreciable, la cual esta en función del diámetro del núcleo, frecuencia y la longitud de la fibra óptica. La dispersión modal es una característica despreciable en las fibras ópticas.

Dispersión Cromática

Es el retardo en tiempo que experimenta el haz de luz a través de la fibra óptica monomodo.

2. FIBRAS DE INDICE GRADUAL

En esta fibra el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar a el revestimiento.

Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de la luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura 3.3 donde A es el radio del núcleo.

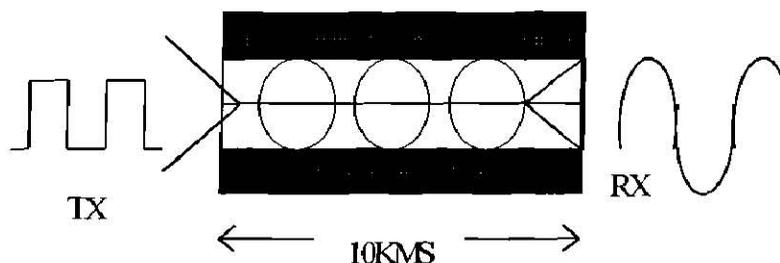


Fig. 3.3 Fibra Multimodo de Indice Gradual

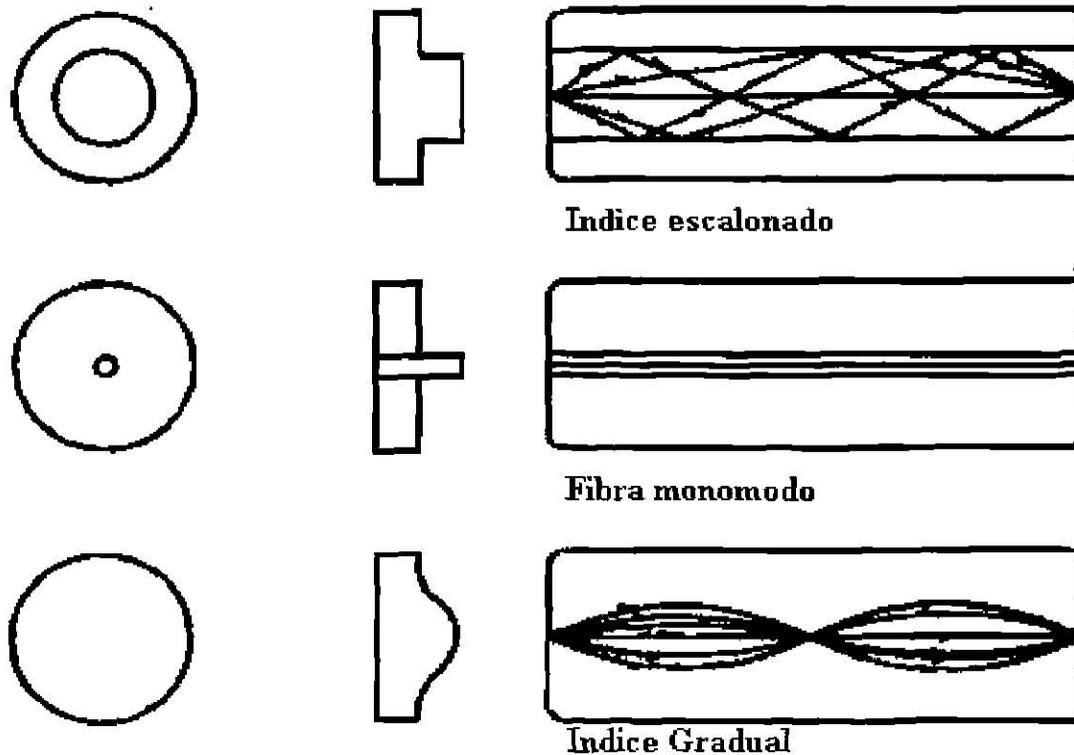


Fig. 3.4 Tipos de Fibras Opticas

CAPACIDAD DE TRANSMISION

La capacidad de transmisión de información de distintos sistemas la vemos en la siguiente tabla.

TIPO DE CABLE	CAPACIDAD DE TRANSMISION DE INFORMACION	CONVERSIONES TELEFONICAS
Par sencillo	1 MHz-km	300
Coaxial	100 Mhz-km	30,000
Fibra óptica	100 GHz-km	30,000,000

Tabla 3.1 Capacidad de Transmisión de distintos Medios de Comunicación.

DIMENSIONES

La siguiente figura nos muestra una fibra sencilla con y sin buffer apretado; así como un tabla donde se muestran los distintos tamaños, apertura numérica, anchos de banda y pérdidas.

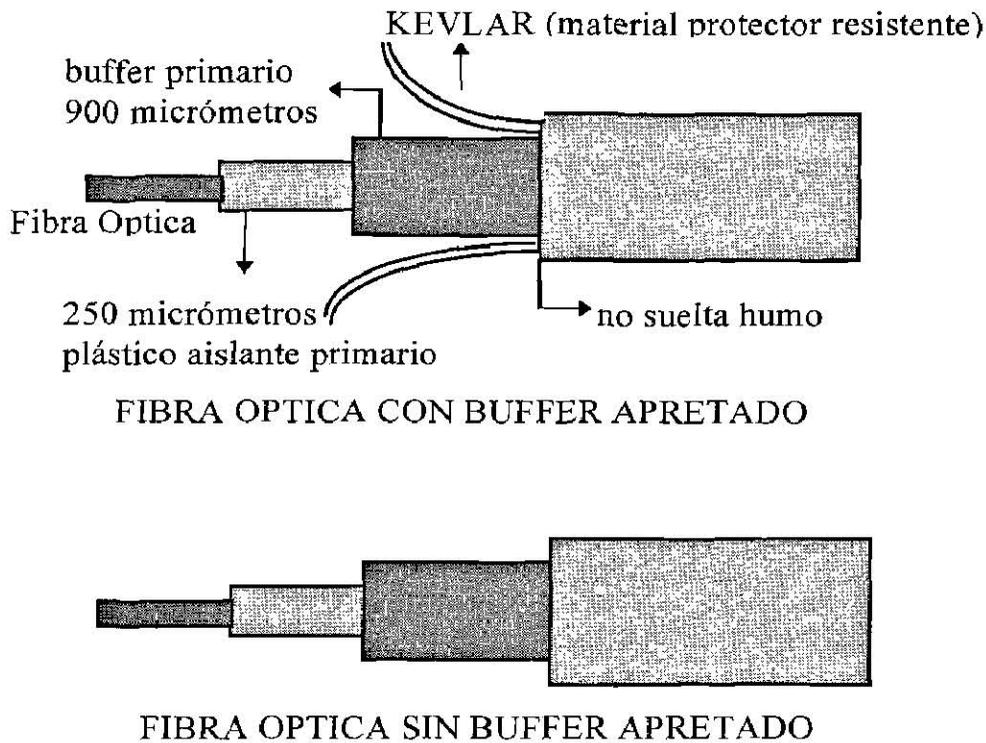


Fig. 3.5 Fibra Óptica con buffer y sin buffer apretado.

TAMAÑO (Núcleo/Revés) DIAMETRO	NA	ATENUACION (dB/Km.)		ANCHO DE BANDA MHZ-KM	
		830 nm	1300 nm	830 nm	1300 nm
Multimodo 100/140 μm	.29	6	3	100-400	100-400
Multimodo 62.5/125 μm	.275	4	2	150-600	200-600
Multimodo 50/125 μm	.20	3	1.5	100-800	400-1500
Monomodo 10/125 μm	.19	.5	.5	100-1200	400-3000

Tabla 3.2 Relación entre tamaño, atenuación y ancho de banda de distintas fibras ópticas.

NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

Gracias a las muchas y valiosas contribuciones al estudio de la naturaleza de la luz, se ha demostrado que se trata de un movimiento ondulatorio transversal de dos campos vectoriales, uno eléctrico y otro magnético, variando con el tiempo.

Entonces aceptaremos que la luz es una onda que se propaga en el vacío con una velocidad dada por:

$$C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

La velocidad de propagación depende del medio en el cual se propague la onda.

Entonces debido a esto cuando una onda de luz cambie de medio su velocidad de propagación se altera.

PROPAGACION DE LA LUZ

Para estudiar la propagación de la luz en medios transparentes se describen dos fenómenos:

- REFLEXION
- REFRACCION

La reflexión: es el cambio de trayectoria que experimenta un haz de luz al incidir en una superficie reflectora. (ver figura).

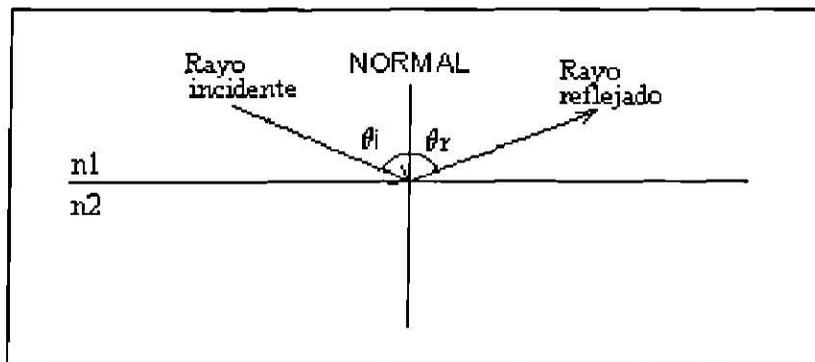


Fig. 3.6 Reflexión de la Luz.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta un haz al cambiar de un medio de propagación a otro.

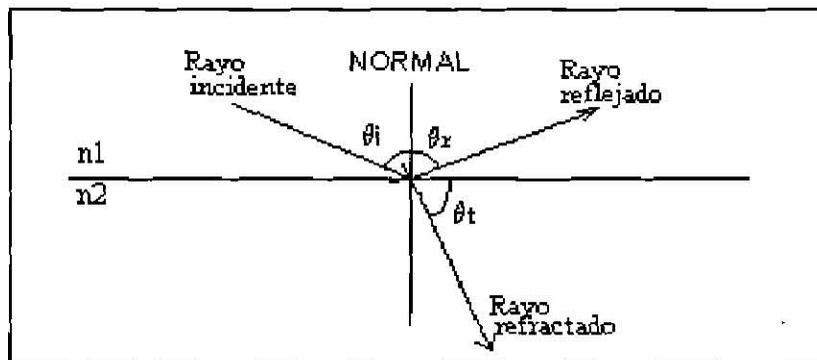


Fig. 3.7 Refracción de la Luz.

LEYES DE LA REFLEXION

- 1.- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado, están en el mismo plano.
- 2.- El ángulo de incidencia, θ_i , es igual al ángulo de reflexión θ_r .

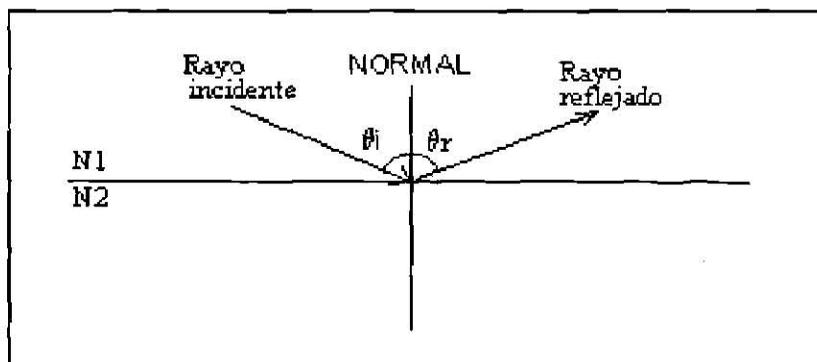


Fig. 3.8 Reflexión de la Luz.

LEYES DE LA REFRACCION

1.- El rayo incidente, la normal, el rayo reflejado y el rayo refractado están en el mismo plano.

2.- El ángulo de incidencia, θ_i , y el ángulo de refracción, θ_t , están relacionados por:

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t) \quad \text{Ecuación conocida como Ley de SNELL}$$

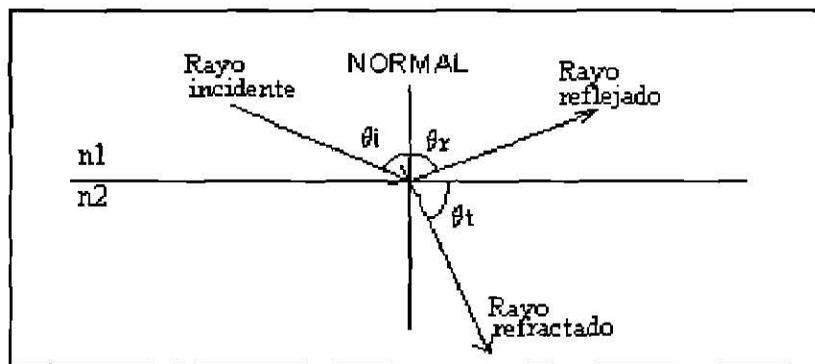


Fig. 3.9 Reflexión de la Luz.

Cuando hay un haz de luz que pasa a propagarse de un medio ópticamente menos denso (de menor índice de refracción), a otro, más denso (de mayor índice de refracción) entonces, el rayo refractado, se acerca a la normal. Esto se muestra en la siguiente figura:

Si $n_1 < n_2$, entonces $\theta_i > \theta_t$.

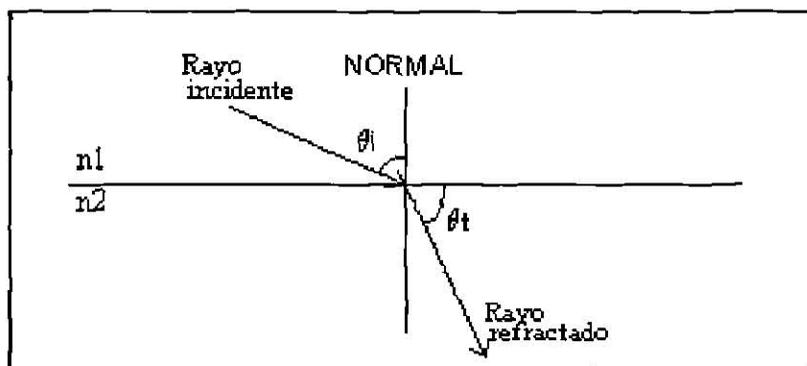


Fig. 3.10 Efecto de la refracción de la Luz en medios menos densos.

Cuando un haz de luz se propaga de un medio ópticamente más denso, a otro menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal, esto se muestra en la siguiente figura.

Si $n_1 > n_2$, entonces $\theta_i > \theta_t$

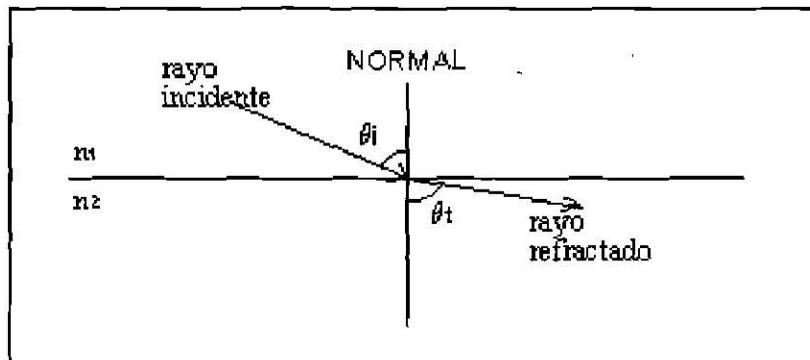


Fig. 3.11 Efecto de la refracción de la luz en medios más densos.

Para un haz de luz que viaja con un medio de índice de refracción mayor a otro con índice de refracción menor, existe un ángulo crítico, para el cual la luz no se transmite al otro medio sino que se propaga por la interface.

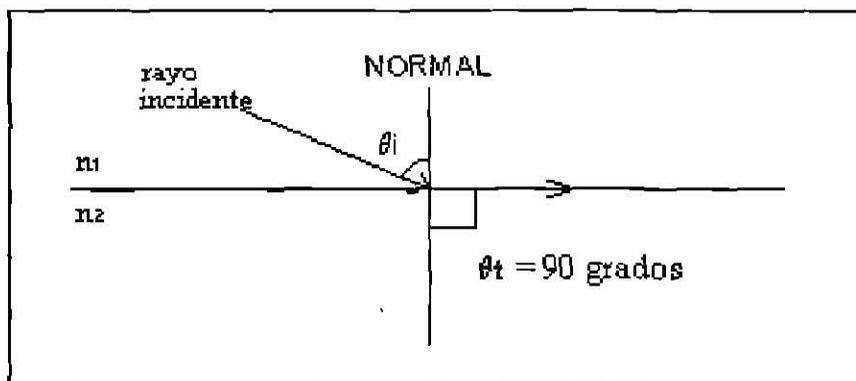


Fig.3.12 Angulo Crítico.

Para obtener este ángulo crítico, hacemos que:

$$\theta_i = \theta_c$$

entonces

$$\theta_t = 90 \text{ grados}$$

y por la ley de Snell,

$$n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2 \text{ sen } (\theta_t)$$

como $\theta_t = 90$ grados, entonces

$$n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2 \text{ sen } (90)$$

$$n_1 \text{ sen } (\theta_c) = n_2$$

por lo tanto:

$$\text{sen } (\theta_c) = n_2/n_1.$$

Siempre que $n_1 > n_2$, se cumple que:

* Para cualquier ángulo $\theta_i < \theta_c$, la luz se propaga al otro medio.

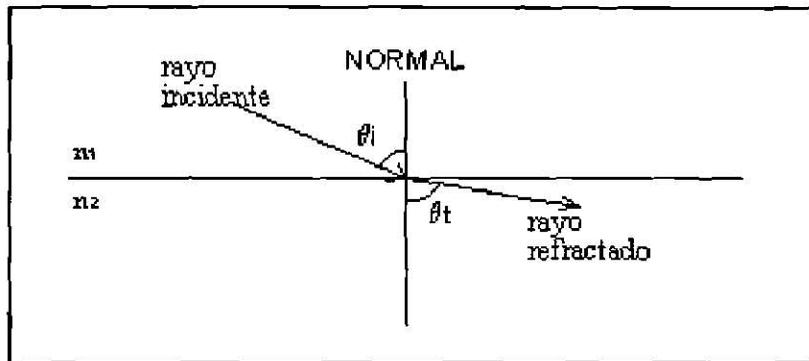


Fig. 3.13 Propagación de la luz en distintos medios.

* Para cualquier ángulo $\theta_i > \theta_c$, la luz se refleja totalmente.

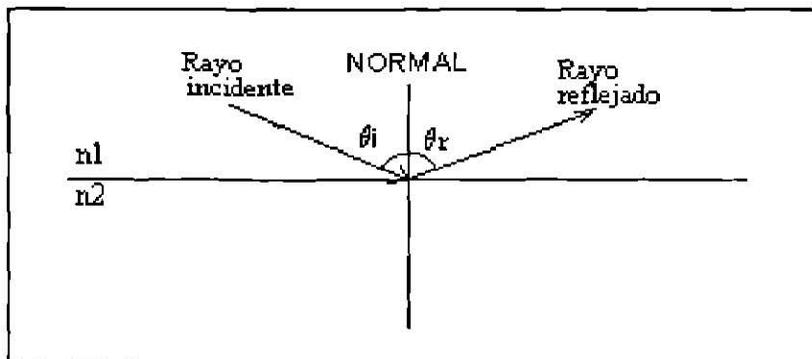


Fig. 3.14 Principio básico de la propagación dentro de la fibra óptica.

La siguiente figura nos muestra el fenómeno de refracción en dos medios de distinto índice de refracción.

Rayo incidente normal

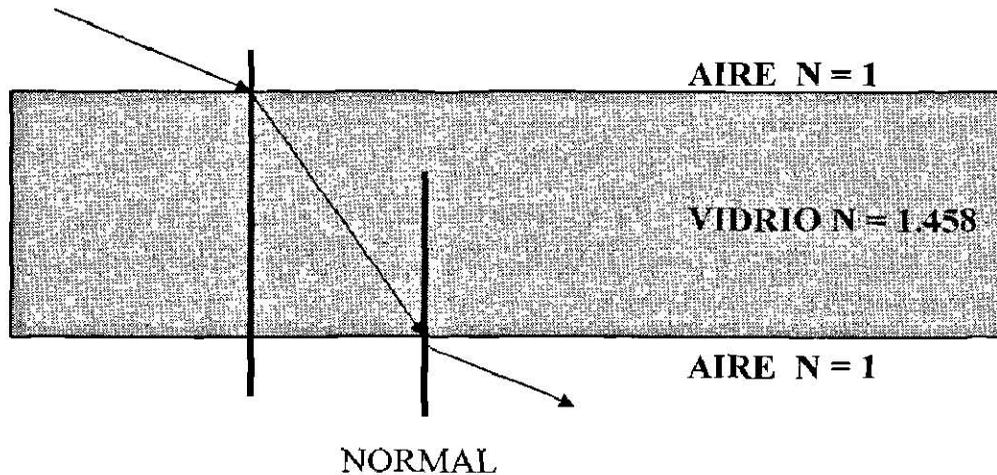


Fig.3.15 Efecto de la propagación de la luz en distintos medios.

INDICE DE REFRACCION (N)

Una de las características de cualquier material ópticamente transparente es la velocidad con la cual viaja la luz en dicho material; esto se caracteriza por una constante matemática llamada índice de refracción.

El índice de refracción es la razón de la velocidad de la luz en el vacío (c) para la velocidad de la luz en ese material (v). Expresado en forma matemática nos queda:

$$N = \frac{\text{Velocidad de la luz en el vacío } (c)}{\text{Velocidad de la luz en otro medio}} \quad ; \quad N = C/V$$

Medio	N
Aire	1.000294
Helio	1.000036
Hidrógeno	1.000132
Agua	1.333
Alcohol	1.361
Diamante	2.419
Ámbar	1.55
Sílice Fundida	1.458

Tabla 3.3 Relación entre medio e índice de refracción de distintos medios.

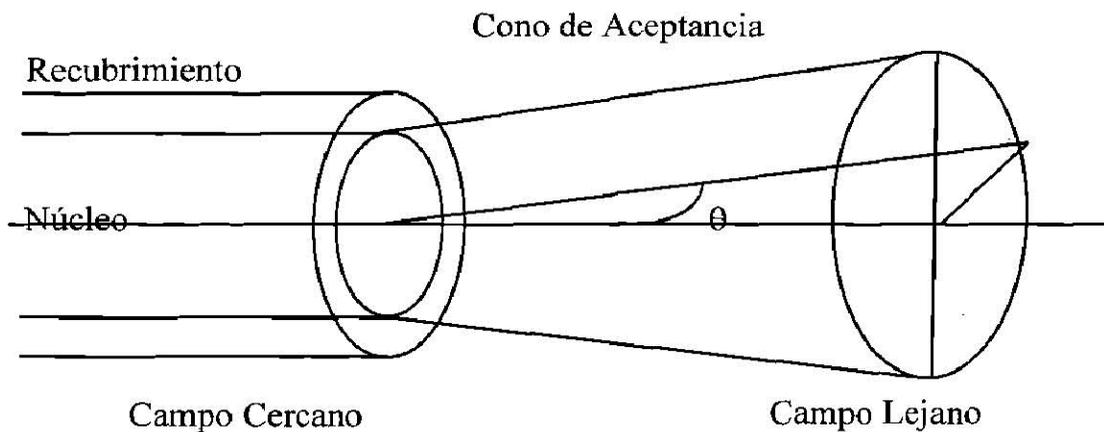
APERTURA NUMERICA

La apertura numérica es la medida de la habilidad de aceptación de la luz de la fibra. La luz será aceptada y propagada si entra al núcleo en un ángulo mayor al ángulo crítico.

El ángulo máximo que puede tener se le conoce como máximo ángulo de aceptación, ya que si se excede de este valor, dejará de ocurrir la reflexión total interna y el haz se refractará en el recubrimiento.

Aperturas numéricas muy grandes se relacionan con una alta eficiencia para su acoplamiento, permitiendo solo pérdidas bajas en los empalmes, las conexiones y en la potencia.

La siguiente figura nos muestra la apertura numérica de una fibra óptica.



Apertura Numérica

$$\text{A.P.} = \text{sen } \theta$$

Fig. 3.16 Apertura numérica de una fibra óptica.

MODOS DE PROPAGACION

El modo de propagación se refiere en esencia a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra.

El modo de propagación se determina básicamente de acuerdo a la frecuencia, el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción. Sin embargo el tipo de fibra también es otro factor a considerar, en la propagación de las ondas electromagnéticas a través de la fibra.

Designación e identificación de los modos

La propagación de las ondas de luz están confinadas en el núcleo de la fibra.

Aquellos modos cuyo campo E_z es más fuerte comparado con el campo magnético H_z a lo largo de la dirección de propagación, se les llama modos **EH**.

Aquellos modos cuyo campo H_z es más fuerte que con los del campo eléctrico E_z a los de la dirección de propagación, se les llama modos **HE**.
Estos modos (**EH**; **HE**) tienen seis componentes de campo y no poseen simetría circular.

Dependiendo de la forma en que se propaguen los modos dentro de la fibra óptica son del tipo monomodo y multimodo.

ANCHO DE BANDA

Uno de los parámetros que caracteriza la capacidad de transmisión de la fibra, está basado en el ensanchamiento que experimenta un pulso que se propaga a través de la fibra.

El ancho de banda está definido por la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{0.44}{\Delta T} (\text{MHz} - \text{km})$$

Donde ΔT es el ensanchamiento del pulso en nano segundos.

PERDIDAS DE TRANSMISION

La pérdida de transmisión en una fibra óptica es tal vez la más importante de las características de las fibras, ya que ésta determina si la fibra es práctica. Esto dicta el espacio entre los repetidores y el tipo de transmisor óptico a ser utilizado.

Como el haz de luz viaja bajo una fibra óptica, ésta pierde parte de su energía por varias imperfecciones de la fibra. Estas pérdidas (Atenuación) son medidas en decibeles de la fibra (dB/km.) multiplicada por la longitud (Km.) del cable. Obviamente, a mayor atenuación, menor será la luz que alcanza el receptor.

Los resultados primarios de la atenuación son la absorción y la dispersión.

PERDIDAS POR ABSORCION

Comparada al vidrio ordinario, las fibras ópticas son notablemente libres de impurezas. Esto debido a los cuidados de sus procesos de fabricación. Regularmente aunque las impurezas son únicamente unas pocas por un millón, ellas absorben algo de esta luz y la convierte en calor.

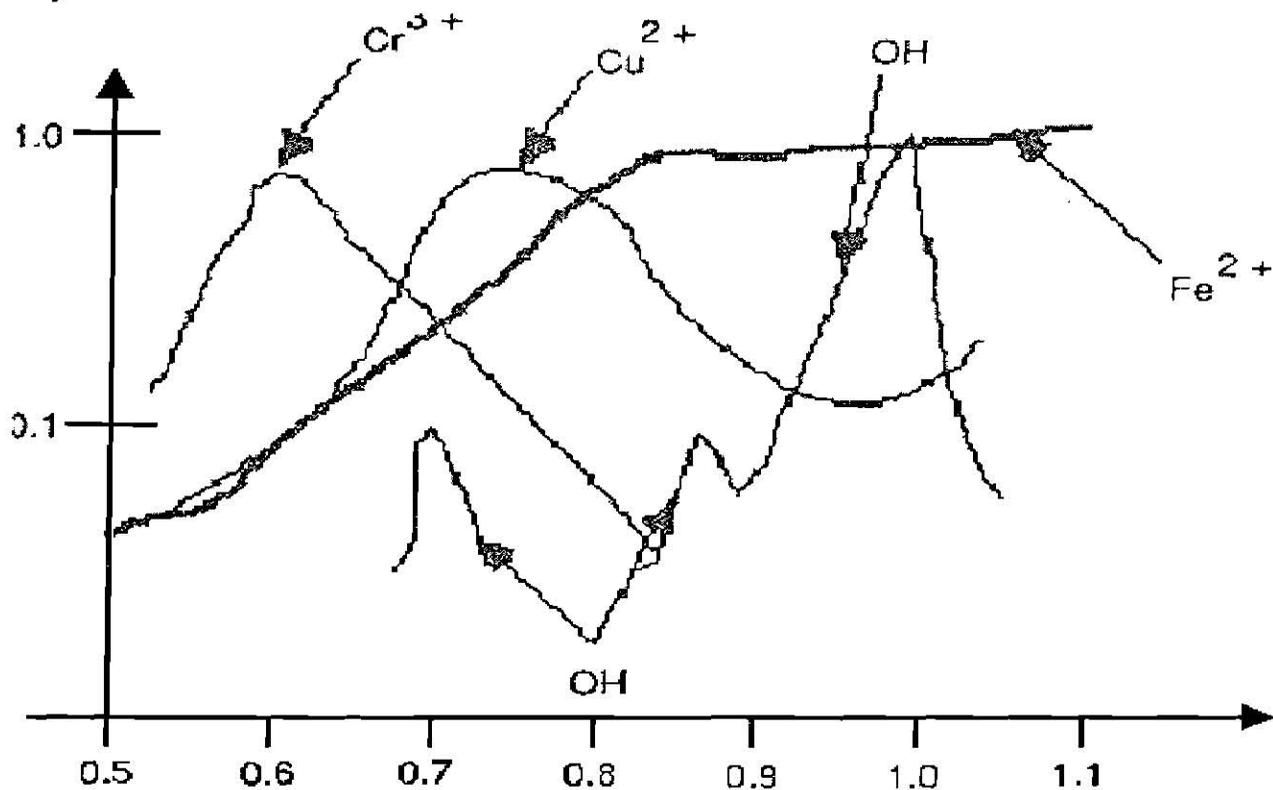


Fig. 3.17 Pérdidas por absorción debido a partículas dentro de la fibra óptica.

PERDIDAS POR DISPERSION

Cualquier cambio en el índice refractivo del material causará alteración en la dirección de los rayos de luz. Esta es la causa básica de la dispersión en el material. Anteriormente se consideraban condiciones ideales.

Esto es, si manteníamos que el núcleo de la fibra tuviera un índice de refracción constante; sin embargo durante la fabricación son inevitables las variaciones en el índice refractivo, estas variaciones dan lugar a alguna dispersión de los rayos de luz.

Este efecto también es conocido como “**RALEIGH SCATTERING**” y es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Esto es, entre más corta sea la longitud de onda, mas grande es el efecto de la dispersión del material.

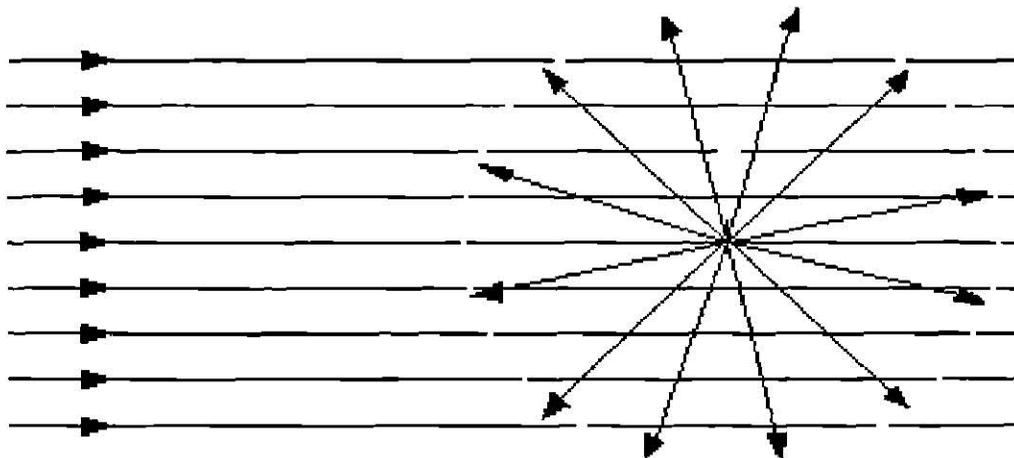


Fig. 3.18 Efecto de dispersión de la luz dentro de la fibra.

PERDIDAS POR RADIACION

Durante la manufactura o instalación del cable de fibra, ocurren en ocasiones muy pequeñas pero marcadas curvas accidentalmente en la fibra. Esta curva aleatoria (distorsión accidental) se muestra en la figura 3.20. La luz radia o escapa en esta microcurva, causando pérdidas en la transmisión. En recientes mejoras en el cable diseñado, estas pérdidas se vuelven poco significativas.

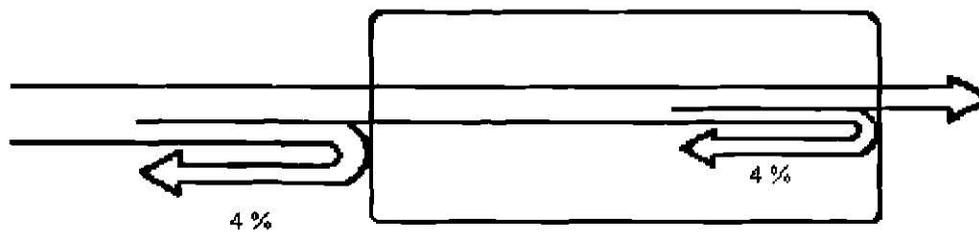


Fig. 3.19 Efecto producido por cambio de la luz en dos medios distintos de índice de refracción (luz de Tyndall).

SEÑALES DE DISTORSION

Como el pulso de la luz viaja a lo largo de una fibra óptica, ella cuida a volver a agrandarse, frecuentemente a el punto que ella coincidirá otro pulso y manchará la formación. Esta es una forma de señal de distorsión que efectivamente limita la información viajando a la capacidad de un sistema de fibras ópticas.

La dispersión de pulsos es primeramente un resultado de modo y material de dispersión.

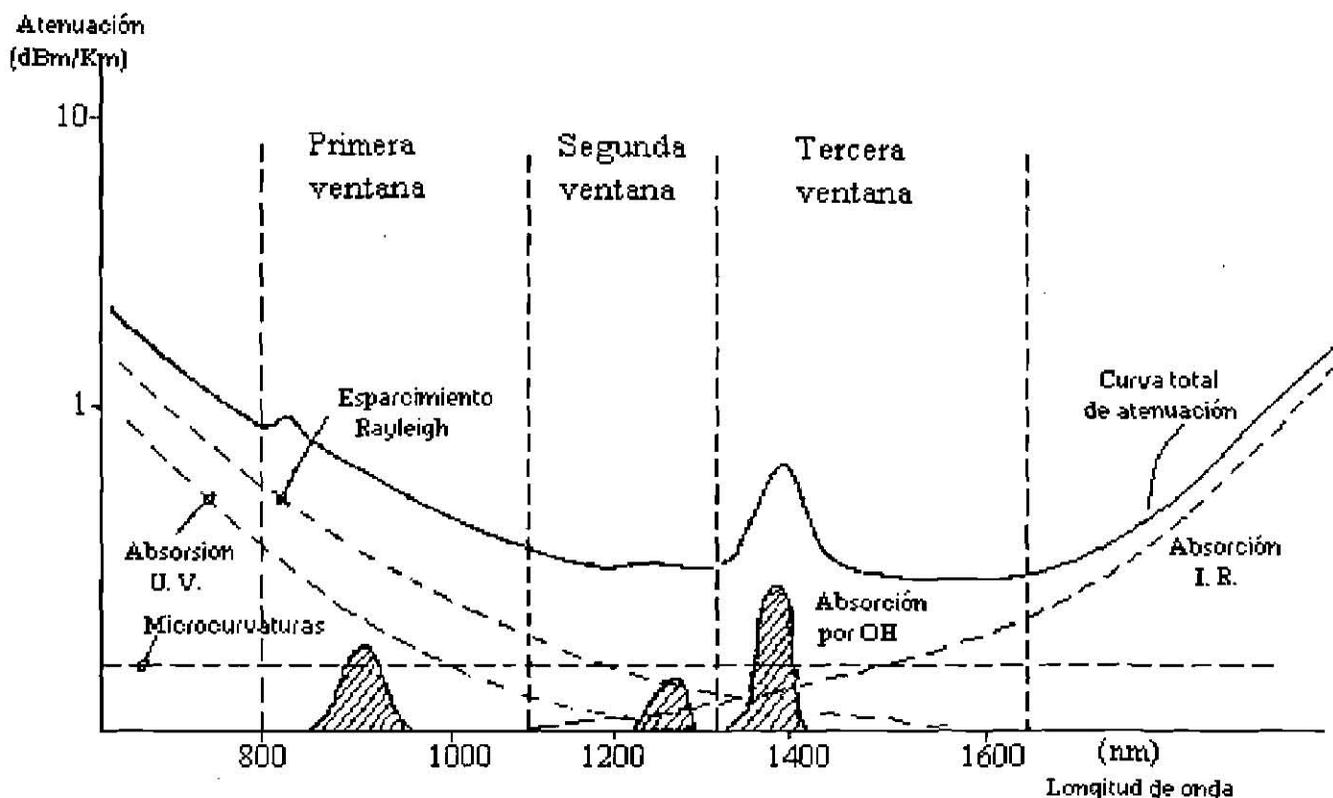


Fig. 3.20 Gráfica de pérdidas de una Fibra Óptica en función de su longitud de onda.

CAPITULO IV

DISPOSITIVOS PARA LA EMISION Y DETECCION DE LUZ

FOTOEMISORES

Los fotoemisores que se utilizan en un sistema de comunicación son el LED (diodo emisor de luz), y el diodo láser de inyección.

El **LED** se clasifica en :

- Diodo Emisor de superficie
- Diodo Emisor lateral

DIODO EMISOR DE SUPERFICIE (SLED)

El diseño de este tipo de **LED** se construye con una área de emisión pequeña ($15\mu\text{m}$ a $100\ \mu\text{m}$ de diámetro), sumergido en un material semiconductor con el fin de disipar el calor eficientemente.

La separación de la superficie emisora es angosta para minimizar pérdidas por absorción. En este tipo de diodo la radiación es constante en todas direcciones, esencialmente isotrópica y con una distribución de emisión de 120 grados.

DIODO EMISOR LATERAL (ELED)

Este tipo de diodo utiliza una doble heterounión para confinar a los fotones en una capa angosta; la mayor parte de la radiación es por la capa reflectora, lo cual hace que la radiación efectiva sea muy alta.

Este tipo de diodo se utiliza con mucha eficiencia en una fibra con una apertura numérica pequeña comparada con la superficie emisora.

Una característica de los LED's es su salida espectral, la salida espectral se considera un proceso aleatorio Gaussiano. La siguiente gráfica muestra la intensidad relativa en función de la longitud de onda.

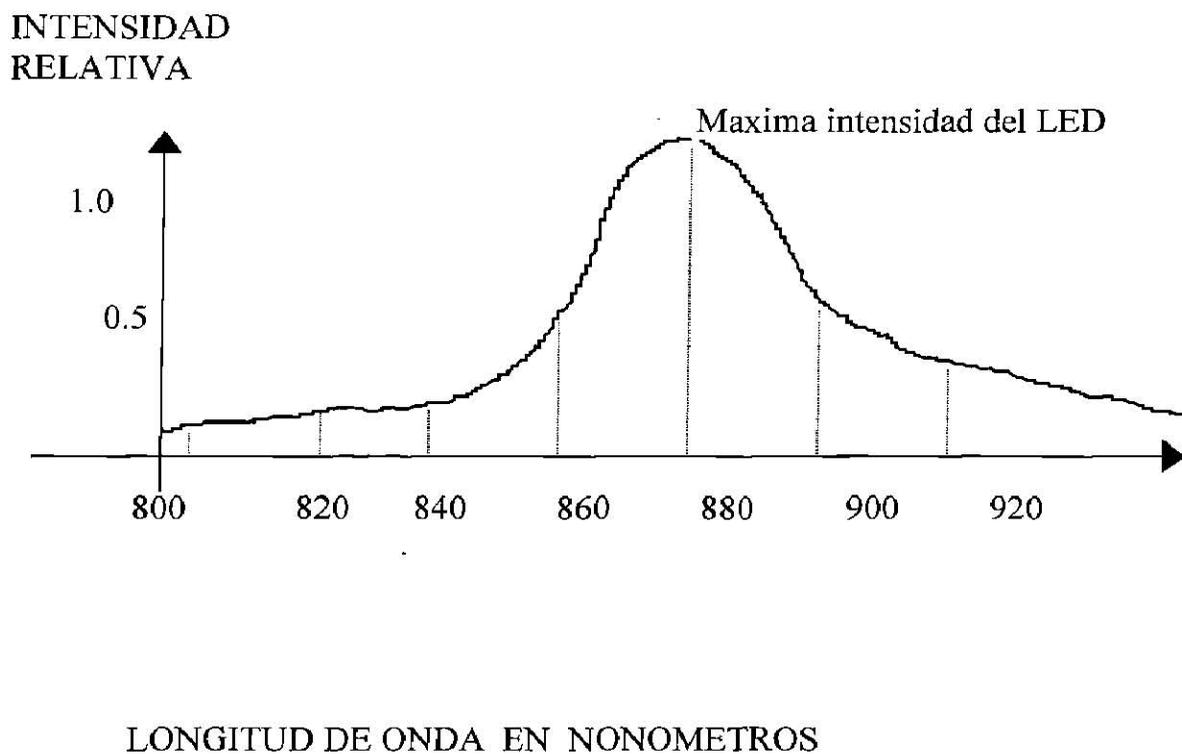


Fig. 4.1 Intensidad máxima del LED.

DIODO LASER DE INYECCIÓN

El principio básico para la emisión de un diodo láser es la emisión estimulada. La amplificación de la luz se produce cuando un fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, con una energía casi igual a la energía de separación entre los dos niveles electrónicos.

En las siguientes figuras se muestran los tipos de fotoemisores (LED's y LASER) así como la potencia que generan.

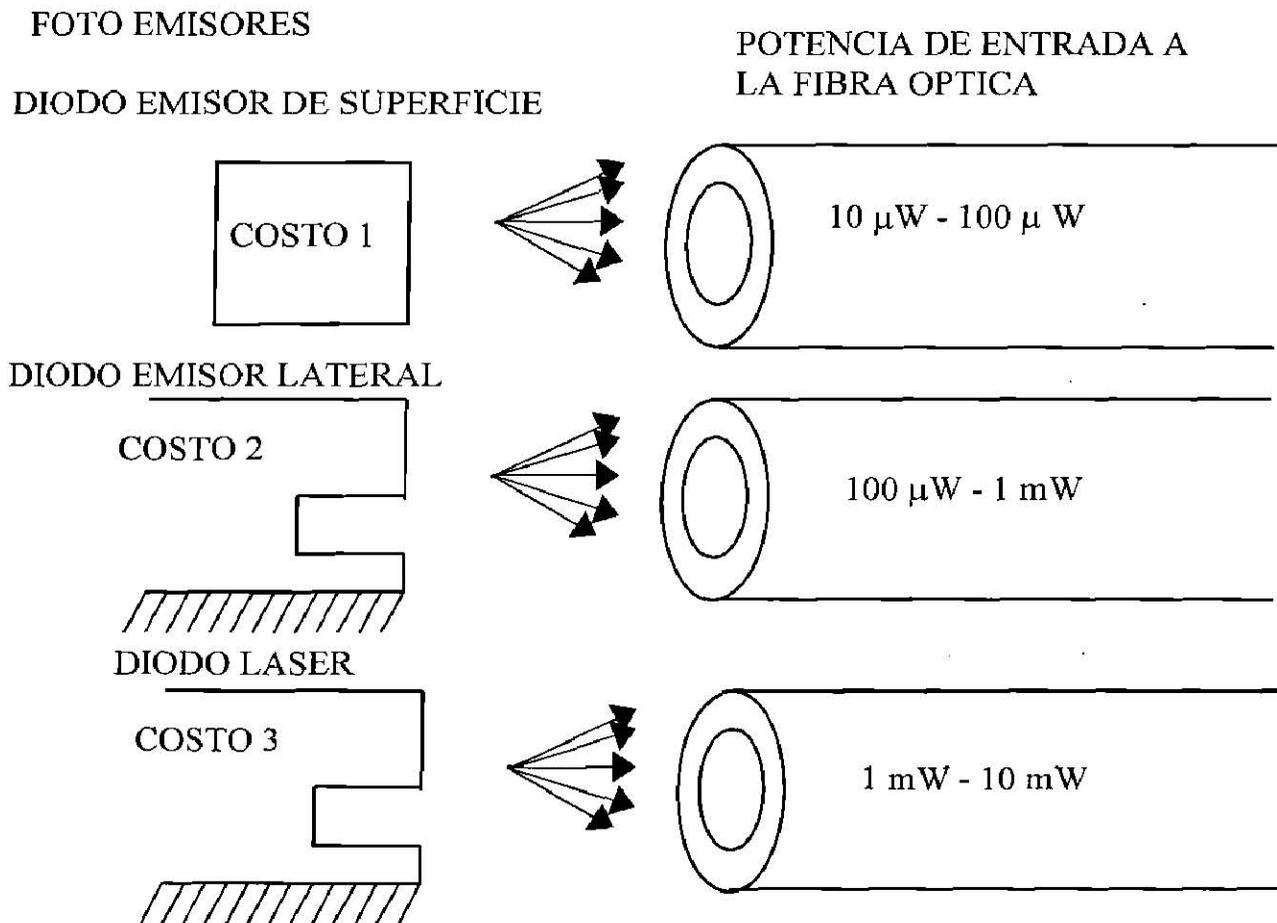


Fig. 4.2 Relación de potencia emitida y costo para los distintos emisores.

USOS DEL LASER EN LA FIBRA OPTICA

Una definición comúnmente aceptada para el láser es: “Dispositivo que produce radiación óptica basada en una inversión de población para proporcionar luz amplificada por emisión de radiación estimulada”. Normalmente, se utiliza una cavidad óptica resonante para conseguir la real imantación positiva. La radiación láser puede ser altamente coherente, bien temporalmente, bien espacialmente, o bien ambas. Es también muy importante el concepto del “umbral láser”, que es el nivel de emisión que tiene lugar debido a emisión estimulada y no a emisión espontánea.

Dentro de las aplicaciones del láser la más conocida es la utilizada en la medicina. Algunos investigadores han empleado microláseres unidos a catéteres para eliminar obstrucciones en las arterias de los animales. La combinación de cámaras con fibras ópticas capaces de ser insertadas en el interior de los catéteres permiten a los investigadores médicos profundizar en el estudio del interior del cuerpo humano.

El uso del láser dentro de sistemas de comunicación cada día va en aumento. La principal aplicación del láser dentro de los sistemas de comunicación se da en el área de transmisión y recepción de información.

Así podemos distinguir las siguientes clases:

Clase I : Se consideran diodos láser de clase I aquéllos que no son dañinos a partes del cuerpo en principio vulnerables a radiación láser. Un ejemplo de este tipo de láser es el de arseniuro de galio (GaAs), cuyo espectro de emisión va desde 820 a 905 nm.

Clase II : Los diodos láser de la clase II son aquéllos que emiten por debajo de 1 miliwatts de potencia; estos láseres pueden producir daños en la retina cuando inciden directamente, o después de alguna reflexión, sobre el ojo. El equipo debe contar con una luz piloto y un obturador, así como con una etiqueta indicadora de precaución.

Clase III : En esta clase se distinguen dos subclases, la **clase III a** y la **clase III b** . Los diodos láser de He-Ne de menos de 4 miliwatts se incluyen en la **clase III a**. Son altamente peligrosos para los ojos, y deben incluir una etiqueta entre 4 y 50 miliwatts de potencia, y deben de ir equipados con una luz piloto, un obturador y una etiqueta indicadora de peligro.

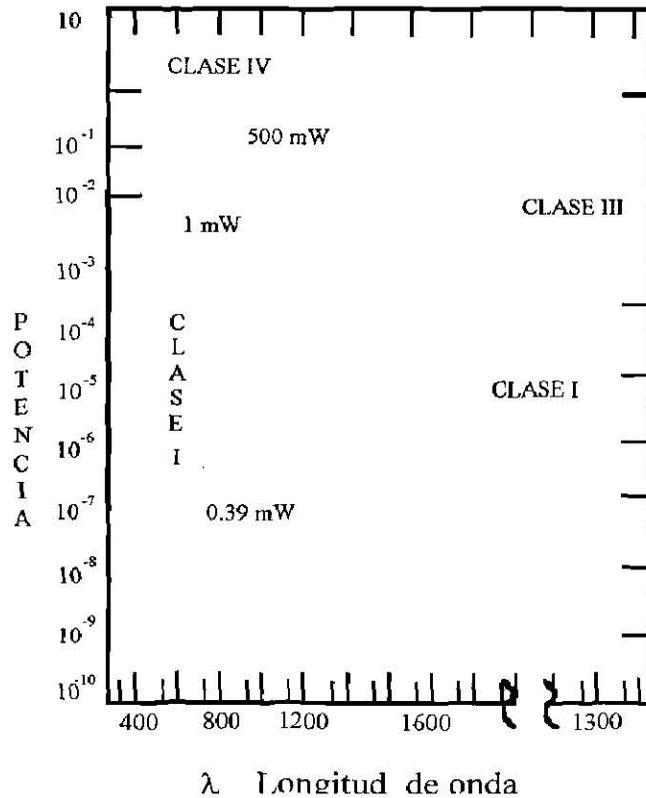


Fig. 4.3 Potencia y longitud de onda de varios tipos de diodos láser.

Clase IV : Los diodos láser de esta categoría son aquellos capaces de emitir grandes potencias, en este grupo podemos encontrar láseres de CO_2 , Nd : YAG, Nd,-vidrio, entre otros .

Estos diodos láser son muy peligrosos para los ojos y para muchas otras áreas del cuerpo que se vean expuestas un período suficientemente largo, pudiéndose producir quemaduras en la piel. Deben llevar una etiqueta indicadora de peligro, además de un piloto y un obturador.

Clase V : Se trata de diodos láser de alta potencia. Es una clase reciente en la que la principal característica es que deben quedar siempre confinados, no permitiéndose la salida de ningún reflejo. Los sistemas de seguridad deben sufrir revisiones periódicas para garantizar su buen funcionamiento. Deben de llevar una etiqueta de peligro en lugar visible, aunque los peligros para el operador son pequeños al garantizarse su confinamiento.

Muchos son los países con legislación referente a normas de seguridad para equipos láser (Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Francia, Suecia, Noruega, Dinamarca, Suiza, Japón, Australia, Canadá y China). En México , sin embargo, no existe una normativa específica para este tipo de aparatos en lo que atañe a los peligros por exposición a la radiación láser.

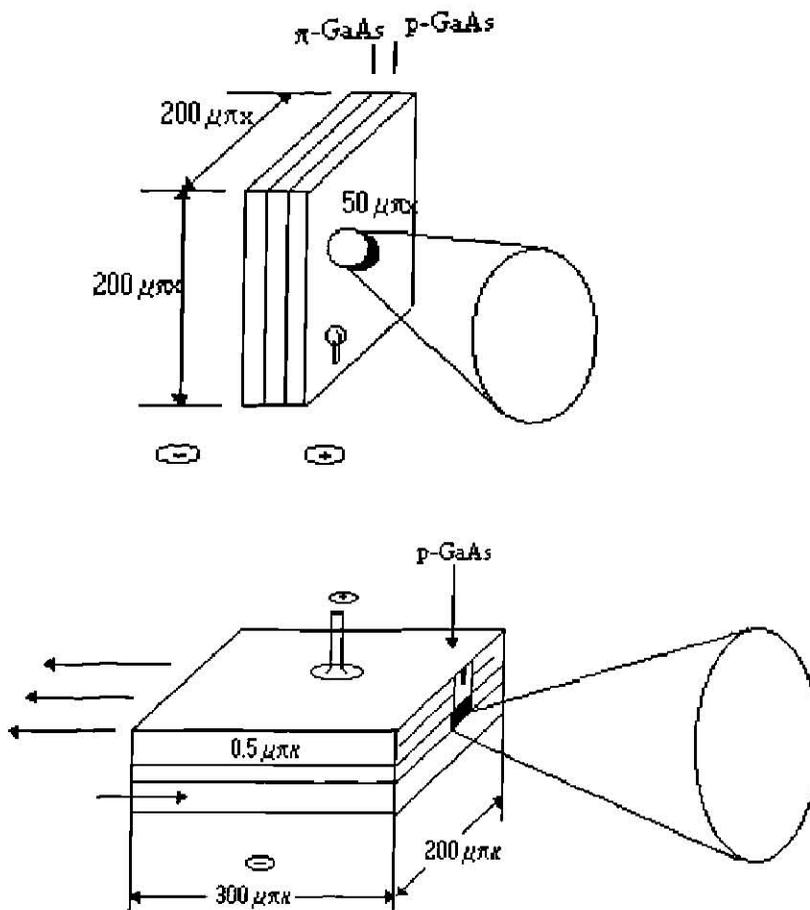


Fig. 4.4 Transmisores Ópticos Laser.

TRANSMISOR

La siguiente figura muestra el diagrama a cuadros de un transmisor de fibras ópticas.

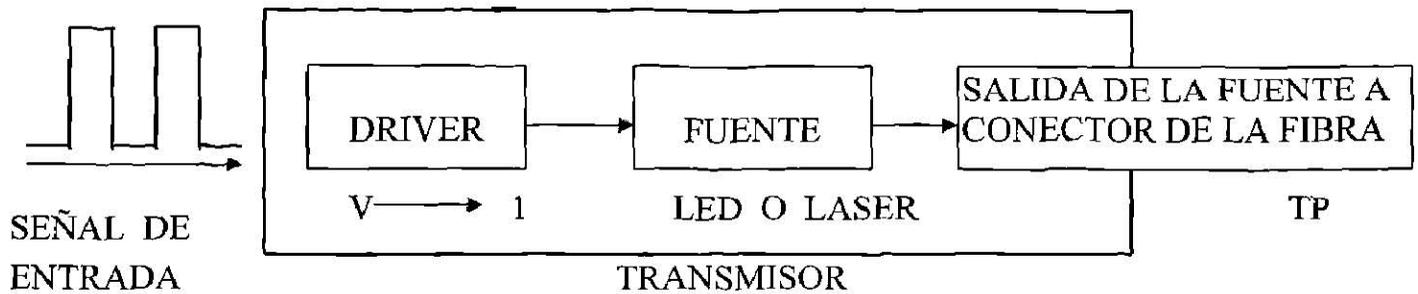


Fig. 4.5 Diagrama a cuadros de un transmisor de fibra óptica.

TP.- Potencia de salida del transmisor.

Los dos tipos de acoplamiento de salida de los transmisores más comunes son:

- **PIGTAIL.**
- **ADM (Active Device Mount)**

Comparación entre la potencia , tamaño de la fibra y longitud de onda de PIGTAIL y ADM

PIGTAIL		TAMAÑO DE LA FIBRA		
		100/140 μm	62.50/125 μm	50/ 125 μm
LONGITUD DE ONDA	830 nm	TP	- 4 DB	- 6 DB
	1300 nm	-10 DB	- 14 DB	-16 DB

PIGTAIL		TAMAÑO DE LA FIBRA		
		100/140 μm	62.50/125 μm	50/ 125 μm
LONGITUD DE ONDA	830 nm	+5 DB	TP	- 3.5 DB
	1300 nm	-5.5 DB	- 6 DB	- 9.5 DB

Tabla 4.1 Tabla comparativa entre Pig tail y ADM.

En la siguiente figura se muestra el acoplamiento mecánico de estos transmisores con la fibra óptica, también se muestra la gráfica de pérdidas espectrales en dB/km en función de la longitud de onda de la fuente emisora.

ACOPLAMIENTO MECANICO.

En las siguientes figuras se muestran los acoplamientos mecánicos que pueden tener los transmisores.

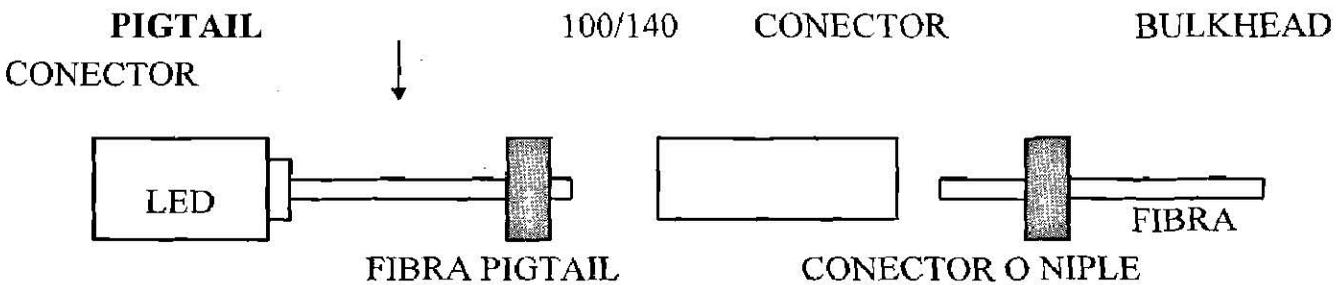


Fig. 4.6 Acoplamiento del Pig tail con una fibra óptica.

PIGTAIL

TAMAÑO DE LA FIBRA	100/140 μm	62.5 / 125 μm	50 / 125 μm
POTENCIA OPTICA DE SALIDA	TP	- 4 DB	- 6 DB
% DE PERDIDAS PARA 100 / 140	0 %	- 60 %	- 75 %

Tabla 4.2 Relación de tamaño de núcleos de revestimiento de Pig tail.

ACTIVE DEVICE MOUNT

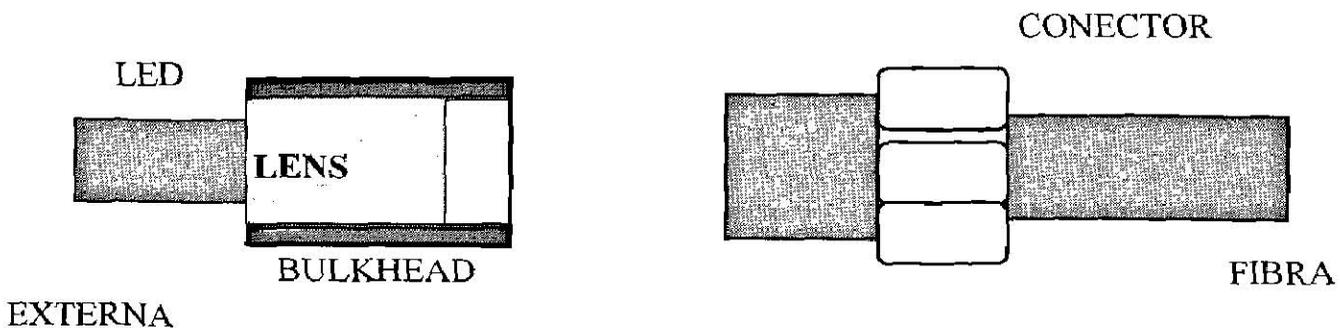


Fig. 4.7 Acoplamiento de un ADM con una fibra óptica.

ACTIVE DEVICE MOUNT

TAMAÑO DE LA FIBRA	100/ 140 μm	62.5 / 125 μm	50 / 125 μm
POTENCIA OPTICA DE SALIDA	+5.5 dB	TP	-3.5 DB
% DE PERDIDAS PARA 100 / 140	+ 12 %	0 %	-55 %

Tabla 4.3 Tabla comparativa del ADM.

FOTODETECTORES

El detector es un componente ideal en un sistema de fibras ópticas; su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica, la cual se amplifica antes de ser procesada.

Principio de operación de los fotodetectores.

Un fotón puede ser detectado por un proceso de interacción de la materia en el que el fotón es aniquilado y su energía transformada en calor o corriente eléctrica. Los requisitos para la ejecución y compatibilidad de detectores son muy similares a los requisitos de la fuente de emisión.

Estos requisitos son:

- * Alta sensibilidad de operación.
- * Alta fidelidad.
- * Amplitud de respuesta eléctrica a la señal óptica recibida.
- * Tiempo de respuesta corto.
- * Estabilidad de las características de ejecución.
- * Tamaño físico del detector.

Los fotodetectores se clasifican en dos tipos :

- * **PIN (POSITIVE INTRINSEC NEGATIVE).**
- * **APD (AVALANCHA PHOTODIODE).**

FOTODIODO PIN

El fotodiodo PIN se utiliza para permitir la operación en longitudes de onda grandes donde la luz penetra más profundamente en el material semiconductor. Tiene las siguientes características.

- * Si se incrementa el ancho de la región activa se incrementa la eficiencia .
- * El ancho de la región de agotamiento incrementa el tiempo de tránsito de los fotones.

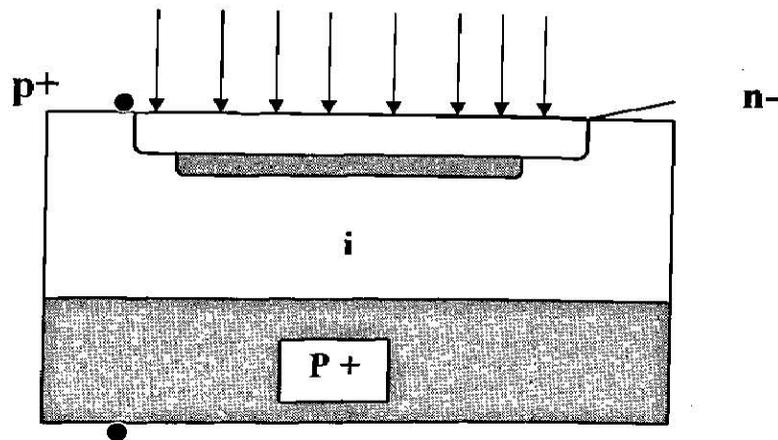
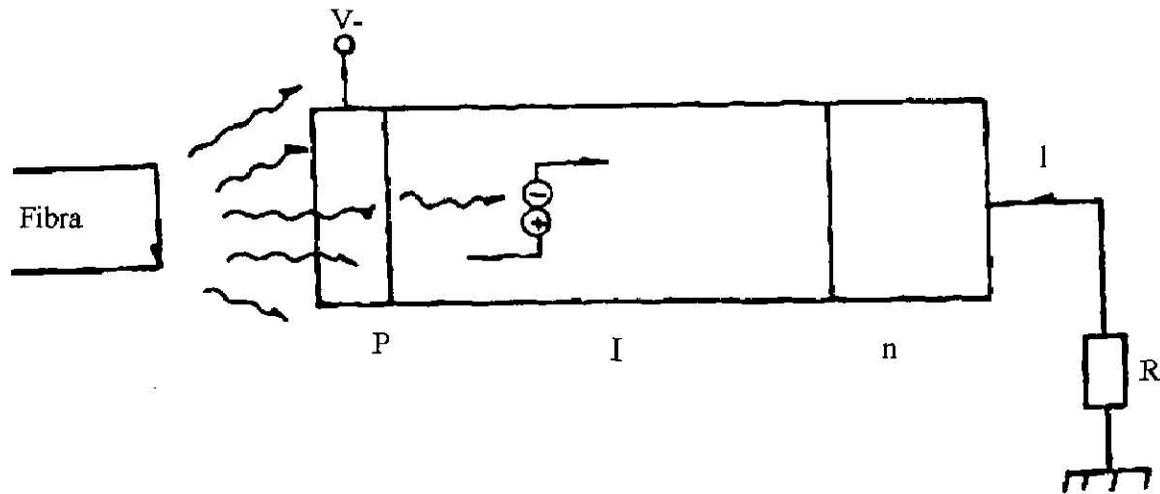


Fig. 4.8 Partes del fotodiodo PIN.

FOTODIODO APD

El fotodiodo APD se polariza fuertemente siendo el campo eléctrico de la unión lo suficientemente grande para acelerar los fotones de carga y adquirir suficiente energía para más aceleración, de lo que él lograría por un proceso de ionización.

El fotodiodo APD puede tener una estructura y geometría que maximice la absorción de fotones.

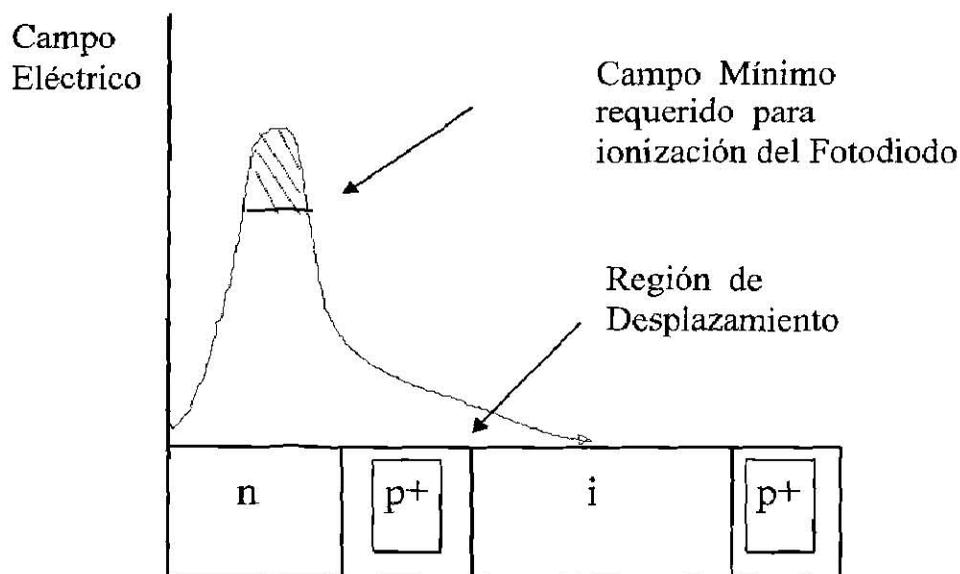


Fig. 4.9 Fotodiodo de avalancha

FOTODIODO PIN	FOTODIODO APD
No tiene ganancia.	Ganancia interna.
Sensible.	Mayor sensibilidad.
Ancho de banda limpio.	Ancho de banda reducido.
Usa bajo voltaje de polarización.	Usa alto voltaje.
Bajo ruido.	Ruidoso.
Muy confiable.	
Más comunmente usado.	

Tabla 4.4 Comparación entre un PNO PIN Y un APD.

RECEPTOR

La siguiente figura nos muestra el diagrama a cuadros un receptor de fibras ópticas.

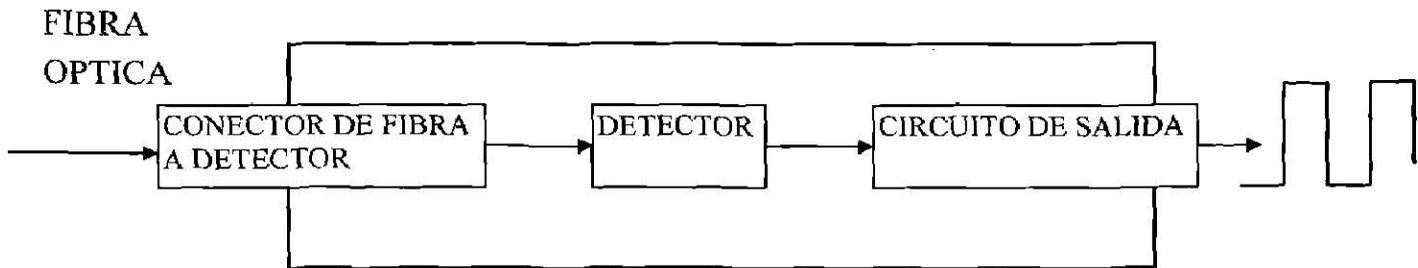


Fig. 4.10 Diagrama a cuadros de un receptor de fibras ópticas.

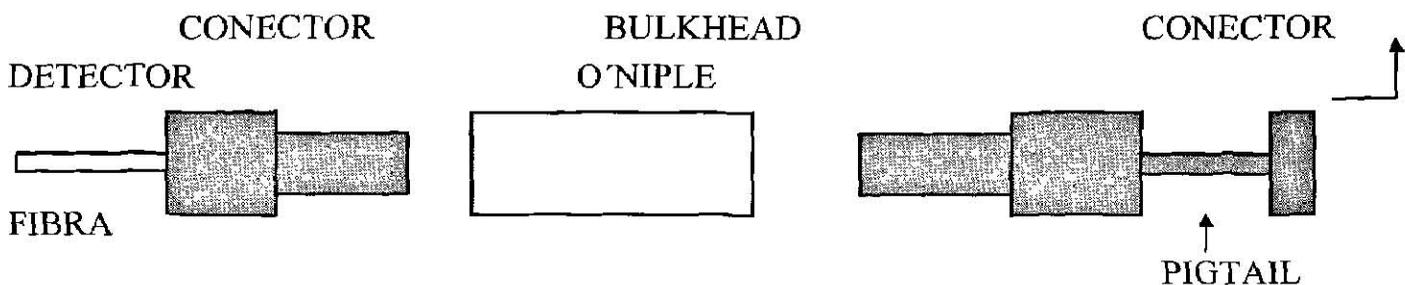
DETECTORES.

Características :

- * **PIN (POSITIVE INTRINSEC NEGATIVE).**
Gran durabilidad, no muy caro, para uso rudo, etc.
- * **APD (avalancha Photodiode).**
Bajo ruido de preamplificación, muy caro, mediana durabilidad.
- * **Longitud de onda.**
Silicio (830 nm).
Ga As (1300 nm).

ACOPLAMIENTO MECANICO.

En la siguientes figuras se muestran los acoplamientos mecánicos que pueden tener los detectores.



Ensamble separado.

Fig. 4.11 Acoplamiento mecánico de la fibra con el receptor.

ACTIVE DEVICE MOUNT

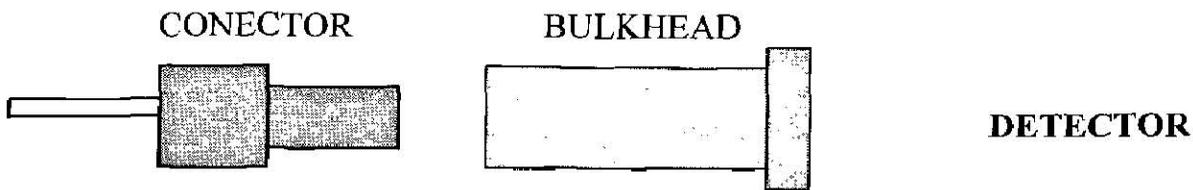


Fig. 4.12 Acoplamiento de un Detector con un ADM

Características del amplificador del detector.

- * Sensitividad, RS (DBM).
- * Rango dinámico, RDY (DB).
- * Rango de operación desde RS hasta saturación.
- * Escala en dB.

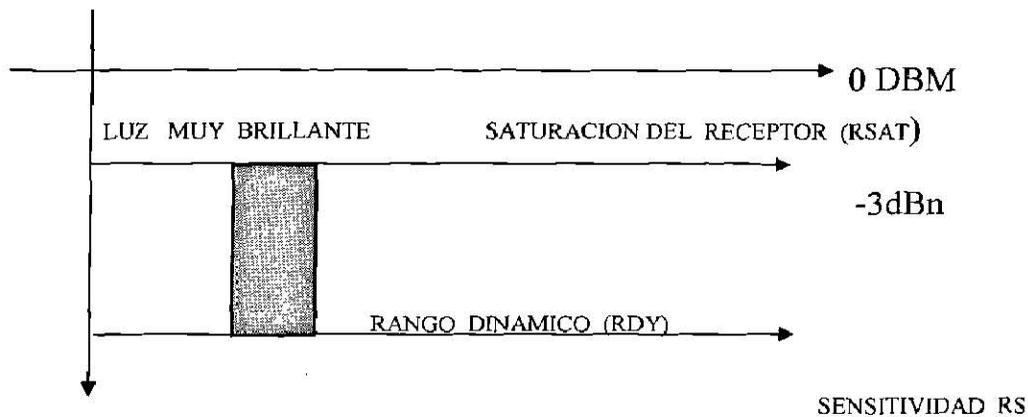


Fig. 4.13 Parámetros del receptor.

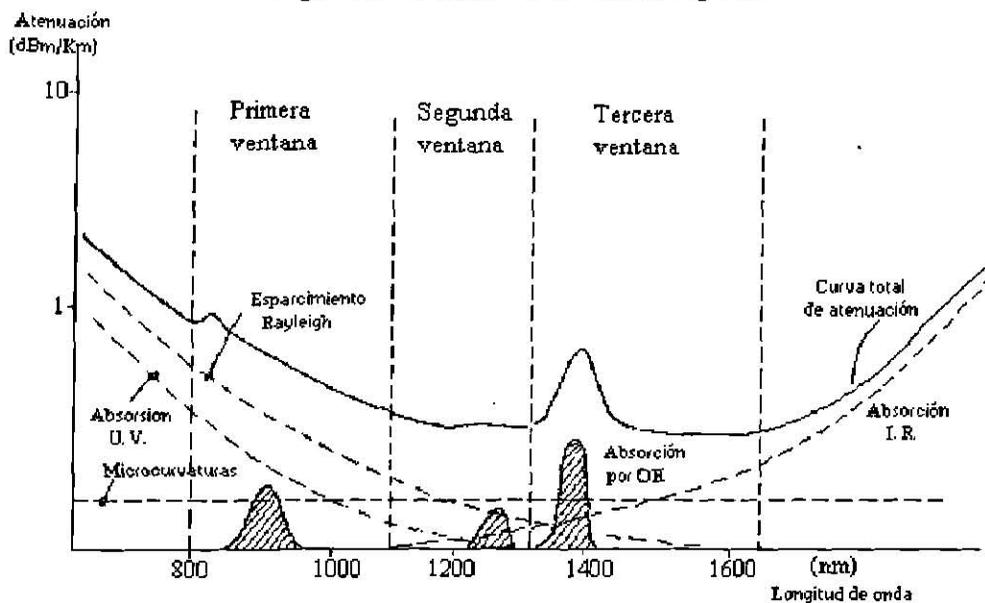


Fig. 4.14 Ventanas de operación de la fibra óptica.

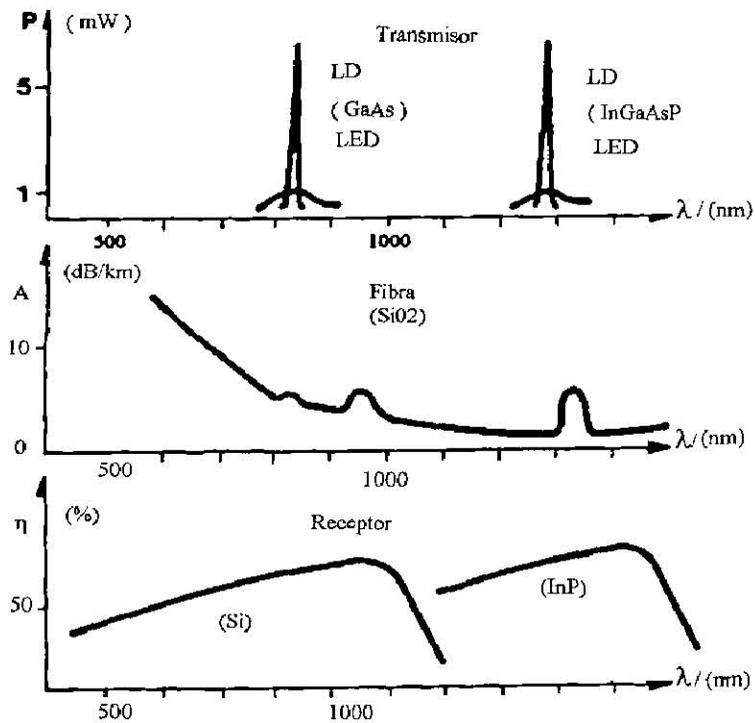


Fig. 4.15 Gráfica de la longitud de onda de operación de transmisores, receptores y atenuación de fibra óptica de Silicio.

CAPITULO V

EMPALMES Y CONECTORES

La interconexión y el acoplamiento de las fibras ópticas con diferentes dispositivos, tales como fuentes de luz y detectores , requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se desea reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema.

Las uniones en las fibras ópticas pueden ser fijas o temporales. En la primera unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en la segunda se utilizan conectores que pueden ser removibles .

El tipo de unión a elegir depende de las necesidades de la instalación.

El incremento en las pérdidas de un enlace es el factor más importante que genera cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual , deben considerarse sus causas y la magnitud de sus efectos.

PERDIDAS EXTRINSECAS E INTRINSECAS

Por las diversas causas que son provocadas, las pérdidas en las uniones con fibras ópticas pueden dividirse en extrínsecas e intrínsecas.

Las pérdidas extrínsecas son causadas por desalineamiento mecánico de la unión de las fibras ópticas.

Este desalineamiento causa pérdidas de radiación ya que el cono de aceptación de la fibra emisora, no concuerda con el cono de aceptación de la fibra receptora.

EXISTEN TRES TIPOS PRINCIPALES DE DESALINEAMIENTO

1. Desplazamiento o falla axial.- Ocurre donde los ejes de la fibra no están colineales sino que están separados paralelamente por una distancia determinada.
2. Desalineamiento o falla angular.- Sucede cuando los ejes de la fibra forman un ángulo y las caras de los extremos exceden de su separación máxima permitida
3. Separación longitudinal.- Ocurre cuando la fibra óptica al unirse sobre un mismo eje pero tienen un espacio entre las caras de los extremos.

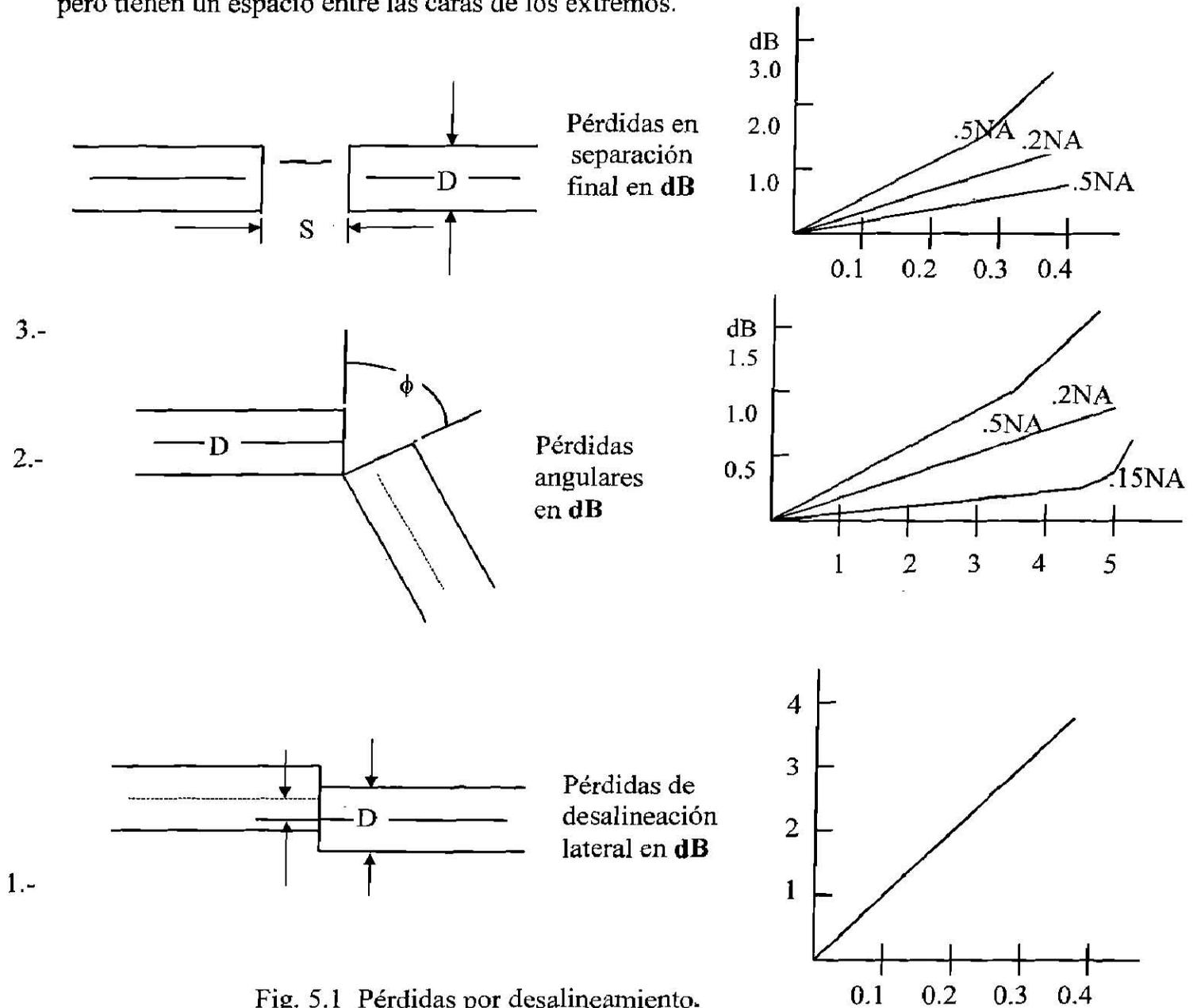


Fig. 5.1 Pérdidas por desalineamiento.

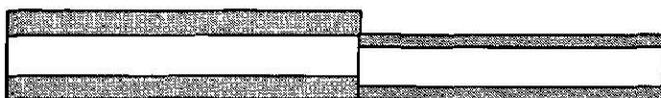
PERDIDAS INTRINSECAS

Las pérdidas intrínsecas son ocasionadas por variaciones de la geometría de la fibra y sus características de diseño.

Estas pérdidas tienen también un efecto importante en las pérdidas totales del sistema.

Los parámetros totales de variación de la geometría son:

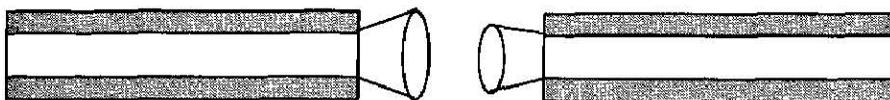
- Diámetro de núcleo.
- Elipticidad del núcleo.
- Apertura numérica.
- Perfil del índice de refracción.
- Concentricidad del núcleo y el revestimiento.



Diferente diámetro en el Revestimiento



Diferente diámetro en el núcleo



Diferente A.N.



Núcleo excéntrico



Núcleo elíptico o revestimiento elíptico

Fig. 5.2 Pérdidas por fallas en la fabricación de la Fibra Óptica.

EMPALMES

En el mundo de los conectores de cobre, el empalme puede ser una simple pareja de alambre unidos y soldados. Pero los empalmes de la Fibra Óptica son una tarea mucho más complicada. Capacitación especial, práctica y equipo, junto con paciencia y una buena coordinación son necesarios para hacer empalmes aceptables. Los dos métodos básicos para los empalmes son: Mecánicos y Fusión. Los empalmes mecánicos se utilizan principalmente en enlaces de corta distancia donde se puede tolerar pérdidas considerables. Este tipo de empalme une la fibra óptica por medios mecánicos tales como ranura en forma de varillas se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico.

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras ópticas deben prepararse en los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje, limpiando la fibra de grasa y polvo.

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras ópticas deben prepararse en los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje, limpiando la fibra de grasa y polvo.

EMPALMES MECANICOS (ELASTOMETRICOS)

Cuando se tienen enlaces de corta distancia donde se pueden tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras ópticas son unidas por medios mecánicos, como ranuras en forma de varillas (se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico).

La siguiente figura nos muestra un empalme de este tipo:

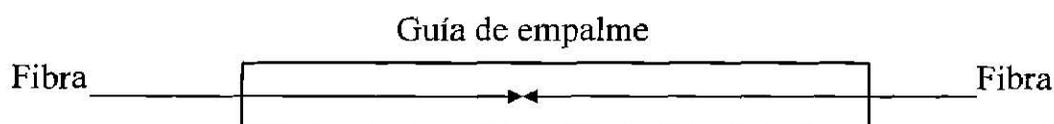


Fig. 5.3 Empalme Mecánico.

Características de este tipo de empalme:

- Las fibras se manejan con herramienta manual.
- Ambas fibras se unen con una guía de empalme.
- El epóxico no es dañino.
- Kit manual.
- No muy caro.
- Trabaja con fibras multimodo.
- -2 dB de pérdidas.

EMPALME POR FUSION

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas.

Las fibras ópticas deben prepararse en los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje limpiando la fibra de grasa y polvo.

En la siguiente figura se muestran los pasos para construir este tipo de empalme:

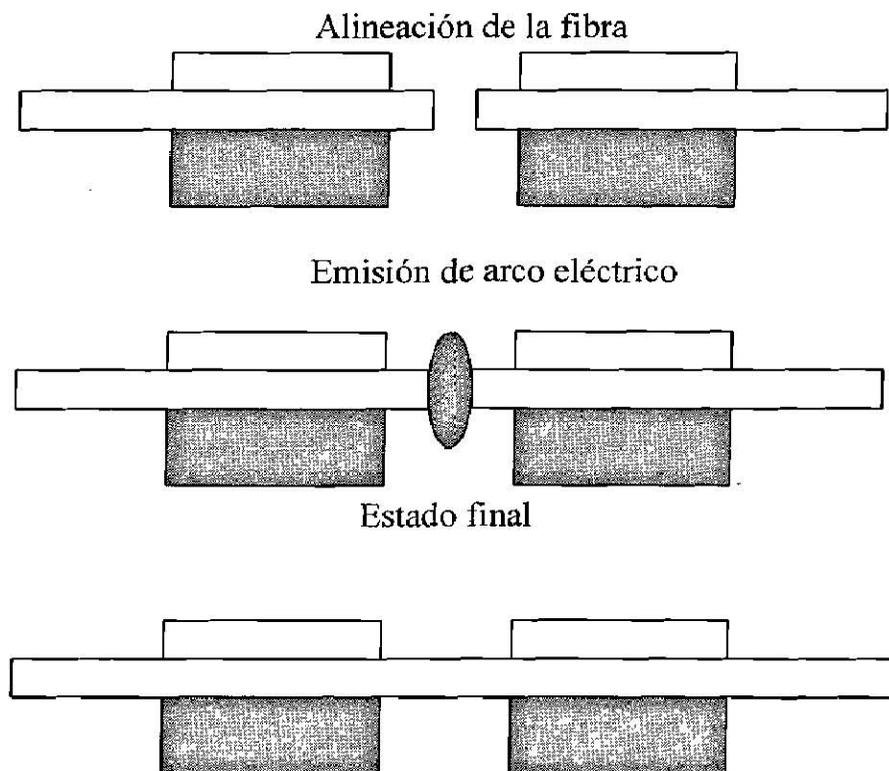


Fig. 5.4 Empalme de Fusión.

Características de este tipo de empalme:

- Alineación a través de micrómetros.
- -.02 dB de pérdidas.
- Es utilizado para fibras de modo sencillo (monomodo).

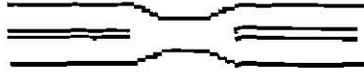
Apariencia del empalme	Causa	Remedio
 <p>Disminución</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodo sueltos, arco de fusión irregular 2. Corriente de fusión muy alta 3. Insuficiente acercamiento en Z 4. Tiempo de prefusión muy largo 5. Corriente de prefusión muy alta 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar electrodos 2. Reducción de 0.2 a 0.3 mA 3. Incrementar distancia 1 μm 4. Estandarizar valor a 0.20 seg. , solo en casos excepcionales. Reducir 0.05 seg. 5. Estandarizar valor a 14.5 mA cambiar solo en casos excepcionales. Reducir 0.1 mA
 <p>Ágrandamiento</p>	Demasiado acercamiento en Z	Reducir 1 μm .
 <p>Sucio o inconcluso</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodo sucios antes del empalme 2. Electrodo desgastados 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar antes de fusionar 2. Checar la calidad de los electrodos
 <p>Fusión incompleta</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corriente de Fusión muy baja 2. Tiempo de prefusión muy corta 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar de 0.2 a 0.3 mA 2. Incrementar tiempo de 0.20 seg. con pasos de 0.05 seg.
 <p>Inoperante</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodo sucios, arco irregular 2. Corriente de fusión muy alta 3. Tiempo de prefusión muy alto 4. Corriente de prefusión muy alta 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar electrodos 2. Reducir corriente de 1 mA a 0.5 3. Estandarizar a 0.20seg 4. Estandarizar a 14.5 mA

Fig. 5.5 Fallas en el empalme de fusión

TABLA DE PERDIDAS PARA FIBRAS, EMPALMES, CONECTORES Y PERDIDAS INTRINSECAS.

Atenuación (dB/Km)

Tamaño	830 nm	1300 nm
100/140 μm	6	3
62.5/125 μm	4	2
50/125 μm	3	1.5

Tabla 5.1 Atenuación de distintas fibras ópticas.

Empalmes (pérdidas)

.2 dB para empalme mecánico
.02 dB para empalme por fusión

Tabla 5.2 Pérdidas por empalmes.

Conectores (pérdidas)

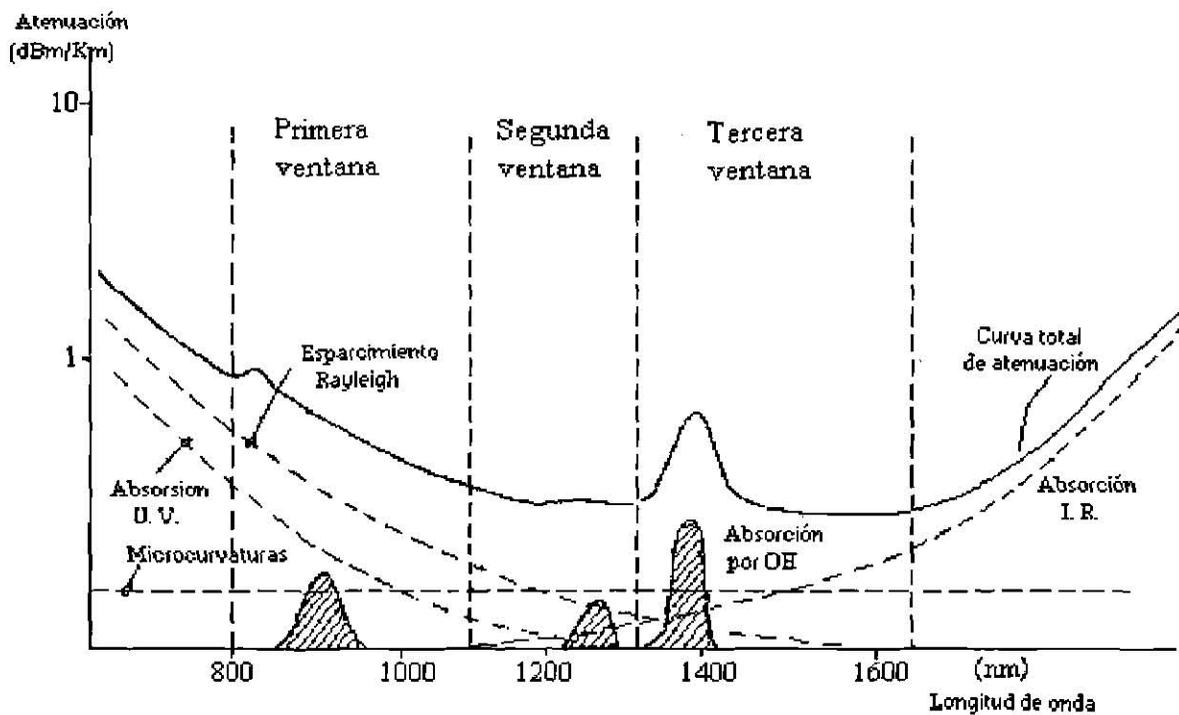
	Max.	Min.
DB / Conector	1.5	.5

Tabla 5.3 Pérdidas por conectores.



Tamaño de la fibra	100/140 μm	62.5/125 μm	50/125 μm
100/140 μm	0	-4	-6
62.5/125 μm	0	0	0
50/125 μm	0	0	0

Tabla 5.4 Pérdidas intrínsecas (DB).



Gráfica 5.1 Ventajas de operación de la fibra óptica de silicio.

CONECTORES

Cuando se requiere unir dos fibras ópticas en forma rápida y temporal se utilizan los conectores. Estos en base a sus principios de diseño, se pueden dividir en dos tipos:

- De acercamiento mecánico de precisión en los extremos.
- De acercamiento óptico de las fibras a unir.

En el primer caso, se utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento de la fibra.

En el segundo caso se utilizan lentes para ayudar en el alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

Los conectores más utilizados son los de acercamiento mecánico y en este tipo se encuentran muchas variedades que combinan costos, pérdidas ópticas, durabilidad, etc.

PROCESOS DE CONECTORIZACION O CONEXION

A continuación se dan los pasos a seguir para hacer una conectorización

- 1) Preparar la fibra.
- 2) Cortar la cubierta externa.
- 3) Cortar el buffer primario junto con el kevlar.
- 4) Poner epóxico dentro del conector.
- 5) Poner el conector hasta que tope en el buffer primario.
- 6) Calentar el conector para secar el epóxico.
- 7) Pulir la terminal del conector.

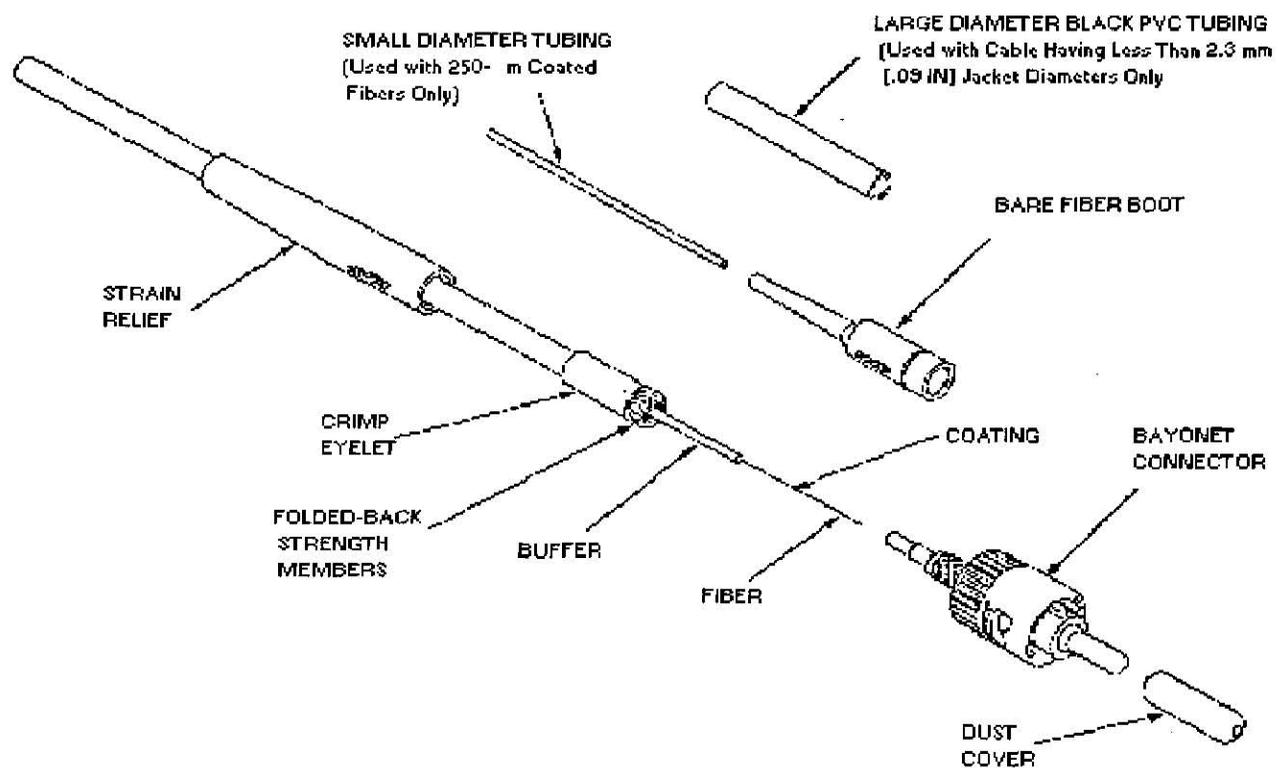


Fig. 5.6 Partes de un conector.

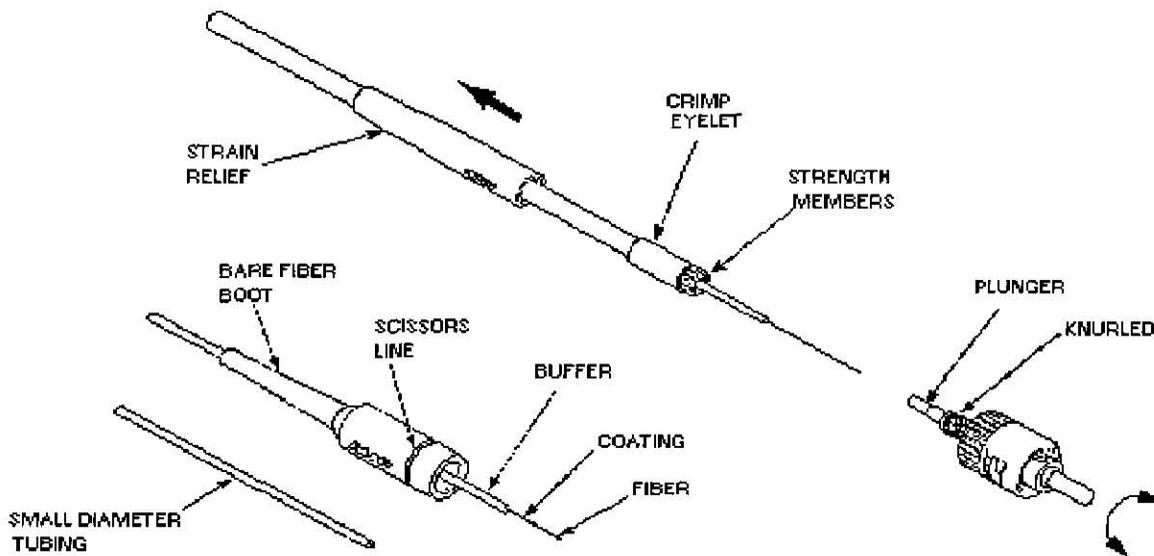


Fig. 5.7 Elementos de un conector ST.

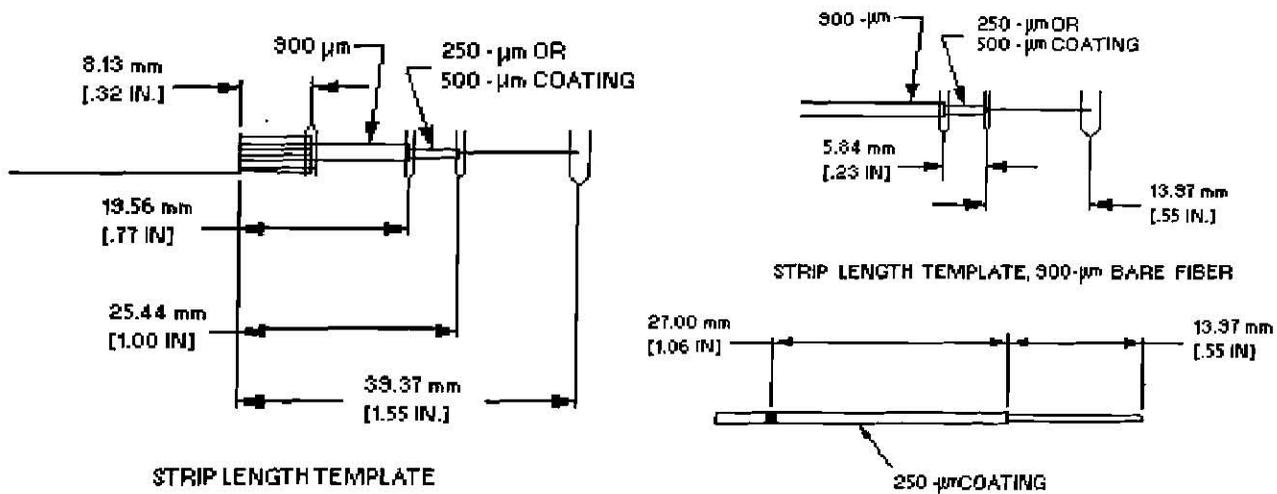


Fig. 5.8 Separación máxima Permitida .

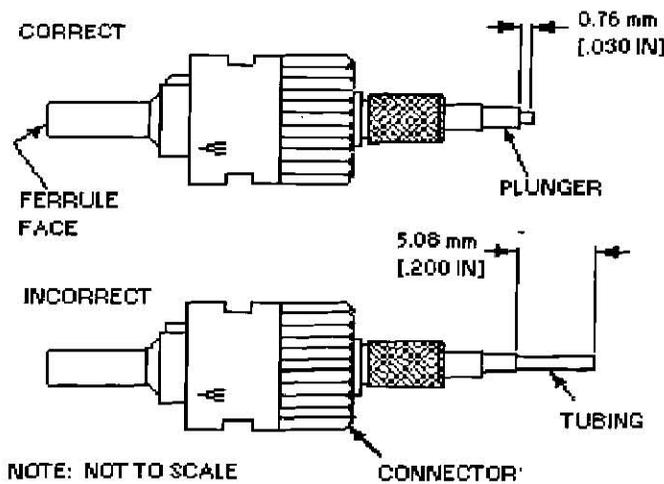


Fig. 5.9 Distancias mínima y máxima de la fibra con la férula del conector.

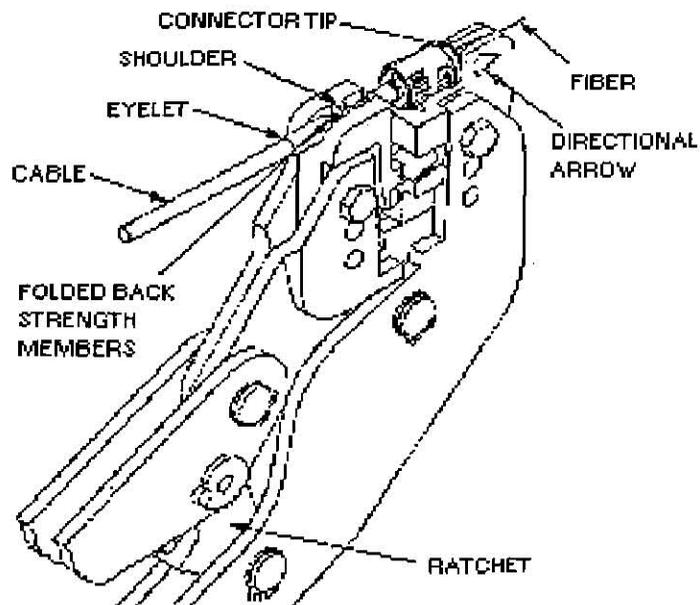


Fig. 5.10 Proceso de Crimpado.

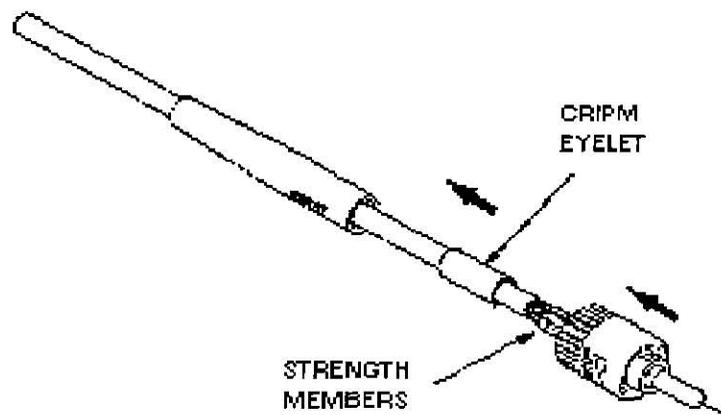


Fig. 5.11 Ajuste de los miembros de fuerza.

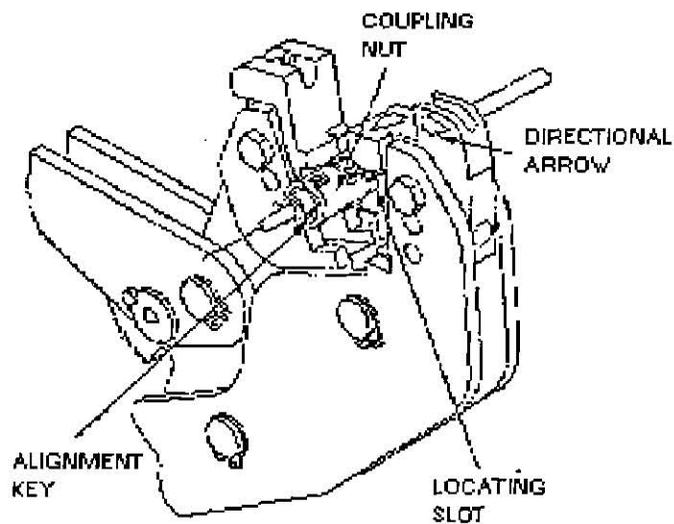


Fig. 5.12 Crimpado del casquillo del conector.

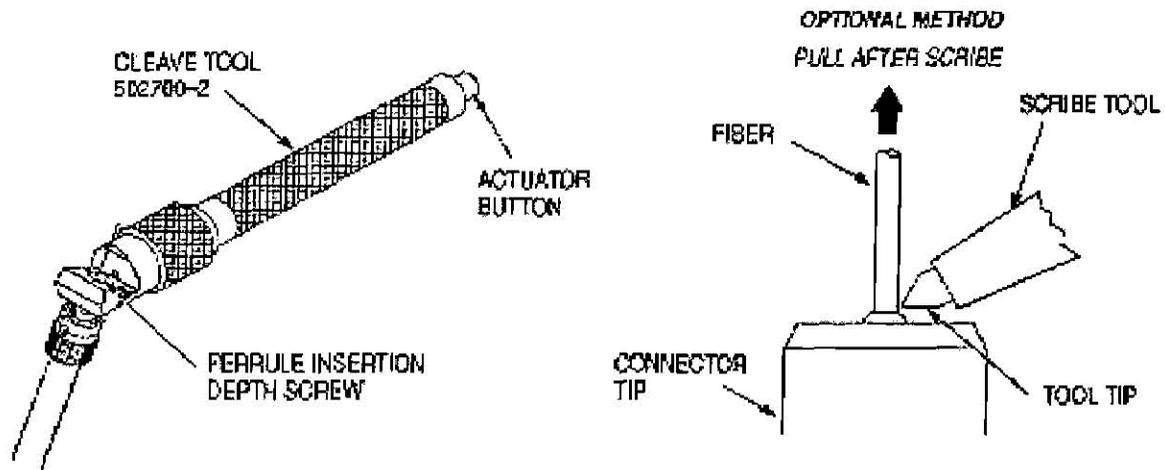


Fig. 5.13 Corte de la fibra sobrante.

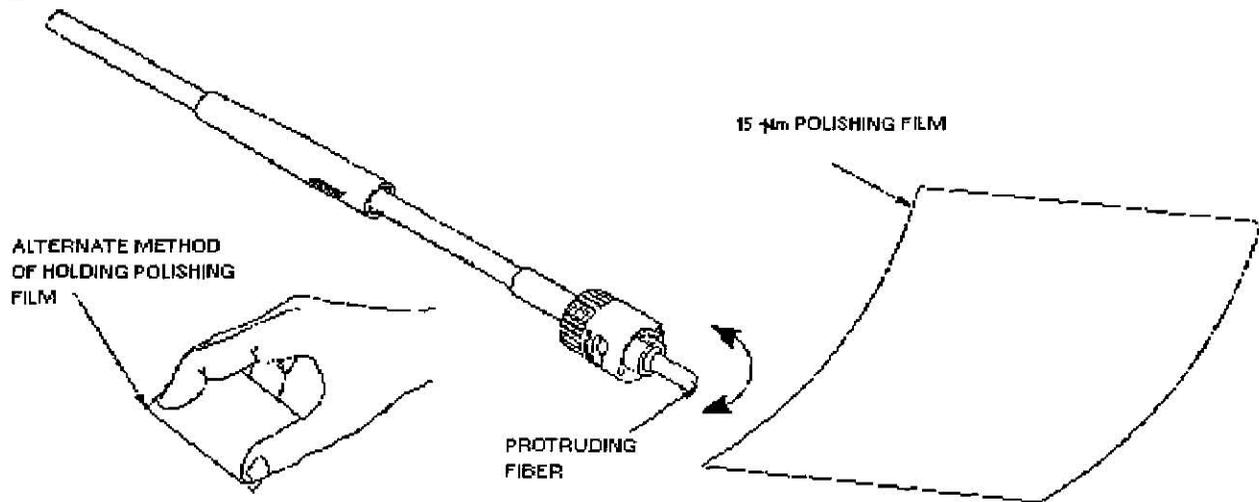


Fig. 5.14 Preparación para el pulido.

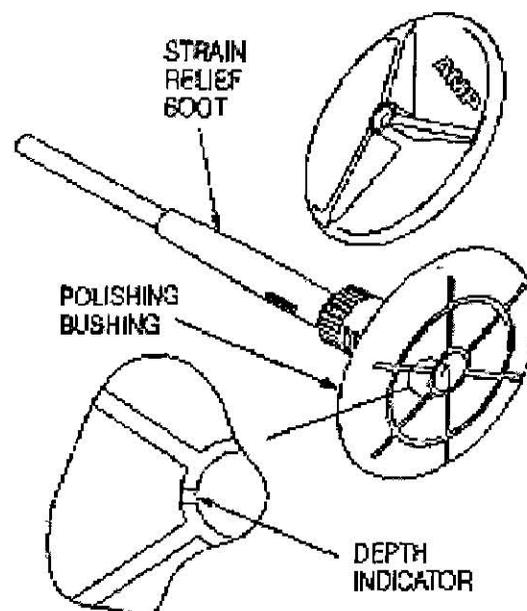


Fig. 5.15 Montaje del disco pulidor.

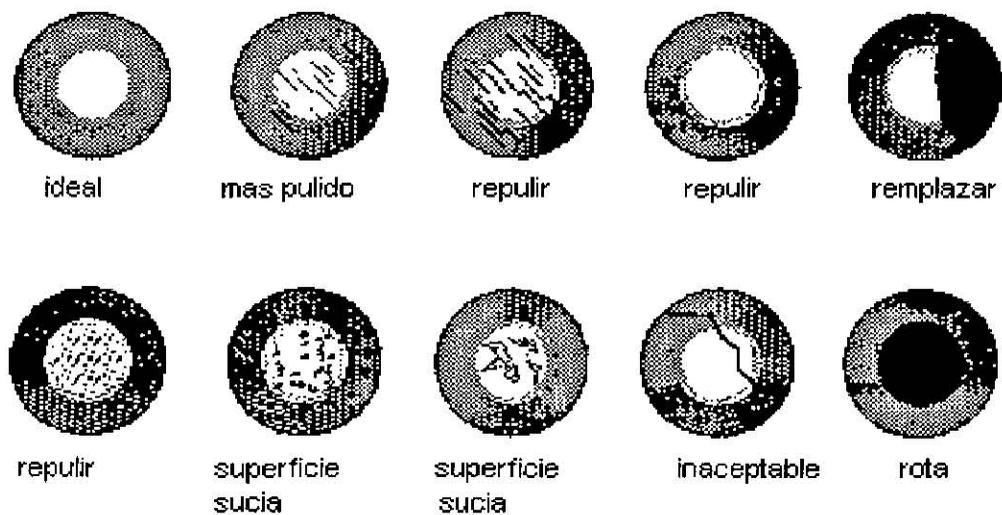


Fig. 5.16 efectos producidos por el pulidor.

CAPITULO VI

INSTRUMENTOS DE MEDICION

EQUIPO DE MEDICION

Las mediciones son esenciales en el mantenimiento de sistemas de F.O., como lo es en los sistemas electrónicos. Técnicas de medición convencionales pueden seguirse en el ajuste y prueba de las porciones electrónicas -receptor y transmisor- de un sistema de fibras ópticas. Aquí consideraremos únicamente medidas ópticas. Estas mediciones ópticas requieren equipo de prueba especial, pero algunas técnicas simples pueden ser usadas en alguna emergencia.

Por ejemplo, si un cable de F.O. con protección metálica, los cortos a tierra pueden chequearse con un ohmetro. Si existe un corto a tierra, esto puede dictar que existe un daño en el cable, lo cual puede implicar daño en la F.O.

Hay dos tipos básicos de equipo de medición para F.O. :

- Medidor de Potencia Óptica.
- Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR).

MEDIDOR DE POTENCIA OPTICA

Mide la potencia y ángulos de emisión de LED y LD, pérdidas en F.O., conectores y NA de F.O. Este aparato tiene rangos espectrales de 600 a 1750nm y rangos de potencia óptica entre 2000 μ w a 20 nw (+3 a - 47 dBm).

Las siguientes medidas con necesarias:

- 1) Potencia radiante absoluta a la salida de la fuente, que es tan importante para la F.O. como la corriente absoluta y el voltaje lo son para la electrónica.
- 2) Pérdida de potencia en la F.O., la cual depende de la potencia de la fibra y del ángulo de incidencia, las medidas de pérdida en la F.O. pueden ser dificultosas.
- 3) Pérdida en conectores y empalmes.
- 4) Sensitividad del receptor, las mediciones de la eficiencia en la conversación O/E o responsividad requiere un medidor de potencia óptica y un multímetro.

Es conveniente realizar todas las mediciones de las variables en decibeles (dB), la unidad de comunicación estándar. Las medidas de potencia absoluta en dBm y dB μ son convenientes para evaluar los componentes ópticos activos, tales como fuentes y receptores. Las medidas de pérdidas de dB relativas son apropiados para componentes ópticos pasivos, tales como F.O., conectores, empalmes y acopladores tipo T.

MULTIMETRO OPTICO.

Mide fuentes lumínicas, fotoreceptores, transmisión en el cable óptico y pérdidas en los conectores y empalmes.

Da lecturas de potencia directa en $\text{dB}\mu$ o dBm . Desde -90 a $+30$ dBm dentro de unos rangos espectrales de 220 a 2000 nm .

Contienen también unas cabezas sensoras, intercambiables para aumentar la capacidad de esta unidad. Se tienen adaptadores para la mayoría de los conectores del F.O. Se recomienda usar multímetros ópticos de mano para las pruebas de campo.

OHMETRO OPTICO.

Mide pérdidas en la F.O. y provee una lectura digital en dB . En operación, un cable de referencia estándar se utiliza para calibrar el instrumento. Este aparato opera a una longitud de onda de 820 nm con un rango de medidas entre $+5$ a -50 dB . La resolución es 0.01 dB para todos los rangos.

REFLECTOMETRO OPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (OTDR).

Un OTDR es un instrumento sofisticado diseñado para :

- 1) Determinar la longitud de la F.O.
- 2) Localizar fracturas o rupturas en la F.O.
- 3) Medir la atenuación de la F.O. , empalmes y conectores.

Determinar la distancia a la que se encuentran las discontinuidades provocadas por conectores y empalmes.

Con el OTDR no es necesario cortar la F.O. o tener acceso a ambas caras de la F.O. para poder efectuar las mediciones. Se puede utilizar el OTDR en pruebas de laboratorio y campo. Como se muestra en la figura el OTDR consiste de un pulsador láser, un acoplador, un detector, un procesador y un osciloscopio. El osciloscopio es esencial para el OTDR, pero dependiendo del fabricante este puede o no estar integrado al OTDR.

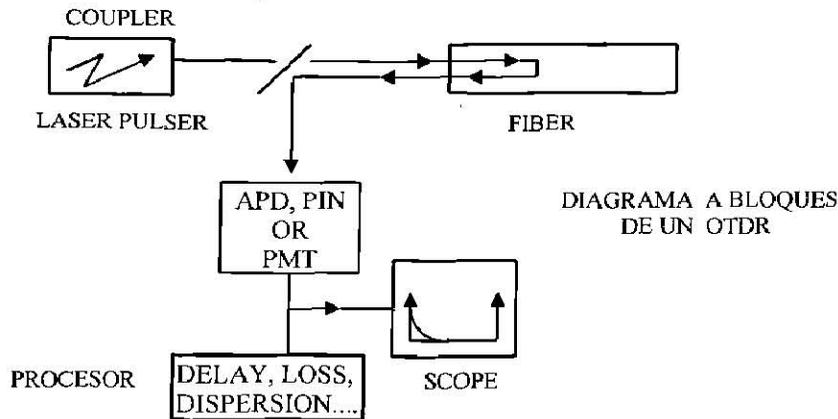


fig. 8.1 Diagrama a cuadros de un OTDR.

En un OTDR típico, el láser emite una serie de pulsos cortos (10 a 100 ns) e intensos (0.5 w) a una λ de 820 nm. Los pulsos pasan a través de unos lentes divisores (filtros ópticos) a 3 dB y un segundo lente al final de la fibra para chequeo. Cuando un pulso golpea cualquier discontinuidad, ruptura, empalme, conector, etc., una pequeña cantidad de energía del pulso es reflejada hacia la fuente. (Luz de Tyndall).

El rayo divisor acopla algo de esta reflexión a un fotodiodo de avalancha (APD). La señal detectada por el APD es procesada y enviada hacia un osciloscopio para poder visualizarse. La interpretación de los trazos en el osciloscopio permite determinar los parámetros ópticos.

La atenuación puede ser determinada de la pendiente de la curva de retrodispersión (backscattering). Las pérdidas en empalmes y conectores pueden definirse por medio de la evaluación de las compensaciones en esta curva.

La longitud de la fibra se puede calcular con la diferencia en tiempo entre los pulsos reflejados, al inicio y al final de la F.O.

Este tipo de medición es mucho más fácil que la medición física del cable. El OTDR provee un excelente método de localización de fallas o rupturas en una F.O.

La longitud máxima que puede ser probada varía entre 5,10 hasta 40 km, dependiendo de la manufactura y pérdidas en el cable. La exactitud de la localización de la falla varía de ± 1 a ± 2 m (dependiendo del equipo utilizado).

La salida del OTDR puede generalmente conectarse a un graficador para obtener una copia permanente. El osciloscopio utilizado deberá ser un instrumento cuyo ancho de banda ande entre 50 y 80 Mhz.

Durante una medición es recomendable que la parte final de la F.O. sea cortada en forma plana. La tabla I da las especificaciones de un OTDR típico. La distorsión del retardo puede medirse por medio de las mediciones de las respuesta a impulso como la muestra la fig. A.

CAPITULO VII

DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACION CON FIBRA OPTICA

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION.

Un sistema de comunicación surge de la necesidad de transmitir información de un punto a otro. Durante los últimos años han aparecido muchas formas de sistemas para realizar esta función.

Las principales motivaciones para generar tales sistemas y lograr su evolución han sido mejorar la fidelidad en la transmisión, incrementar la velocidad de transmisión de información e incrementar la distancia entre repetidoras para mencionar algunas.

En su forma más elemental un sistema de comunicación consta de los siguientes elementos.

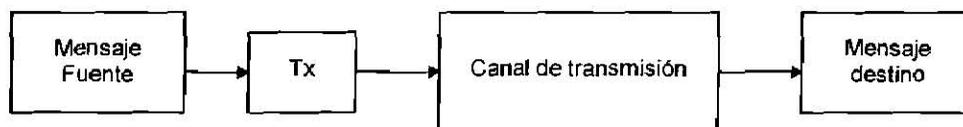


Fig. 9.1 Diagrama a cuadros del Sistema de Comunicación.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION CON FIBRA OPTICA

Una transmisión con fibra óptica consiste de los siguientes elementos:

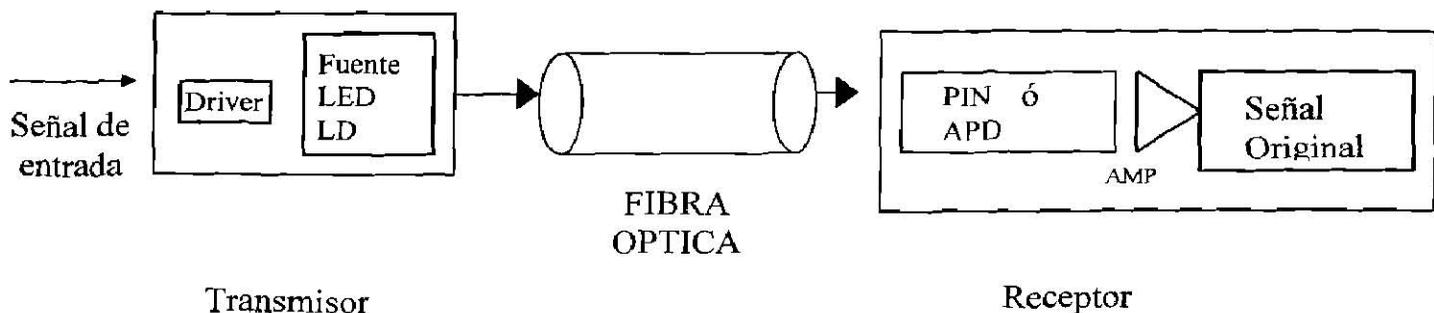


Fig. 9.2 Elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica.

La instalación de líneas de fibra óptica puede ser aérea, en ductos, submarina o enterrada directamente en tierra. La longitud en las diferentes instalaciones varía de cientos de metros a varios kilómetros de distancia.

Una de las principales características de la fibra es su atenuación como función de la longitud de onda. Inicialmente se hizo uso exclusivo de la banda de 800 a 900 nm, dado que en esta región las fibras exigen un mínimo en la curva de atenuación y se disponía de fotoemisores y fotodetectores a estas longitudes de onda. Ahora en la actualidad mediante técnicas de reducción de iones de hidrógeno y de impurezas metálicas, los fabricantes obtienen fibras con muy bajas pérdidas en la región de 1100 1600 nm.

REQUISITOS PARA EL DISEÑO CON FIBRA OPTICA

El diseño de enlace óptico relaciona muchas variables respecto a las características tanto de la fibra óptica, la fuente de luz, el fotodetector, así como los circuitos involucrados.

El diseñador debe escoger cuidadosamente los componentes para asegurar que el nivel del sistema sea mantenido por arriba del requerido sin especificar las características de los componentes.

Los requerimientos claves a considerar en un sistema son principalmente:

- La distancia de transmisión deseada (posible).
- La velocidad de transmisión de datos o el ancho de banda por canal.
- La proporción de bit erróneos (BER).

Para cubrir estos requerimientos es necesario seleccionar las características de los componentes entre los cuales se encuentran los siguientes:

1. Fibra multimodo o Monomodo

- a) Tamaño del núcleo.
- b) Perfil del índice de refracción del núcleo.
- c) Ancho de banda.
- d) Atenuación.
- e) Apertura numérica.

2. Fuente de luz, LED o Diodo Láser

- a) Longitud de onda emitida.
- b) Ancho espectral.
- c) Potencia de salida.
- d) Área efectiva de radiación.
- e) Patrón de radiación

3. Detector óptico fotodiodo PIN o fotodiodo de avalancha APD

- a) Respuesta.
- b) Longitud.
- c) Velocidad.
- d) Sensibilidad.

Cuando una señal óptica ha viajado una cierta distancia por una fibra, la señal se atenúa o distorsiona a tal grado que se requiere de un repetidor en la línea de transmisión para amplificar y reconstruir la señal.

Una de las metas de un diseñador es conseguir distancias entre repetidores en la línea de transmisión debido a que cada uno de estos agrega costo al diseño.

Un repetidor óptico consiste de un receptor y un transmisor colocado juntos. La siguiente figura nos muestra un diagrama de un repetidor.

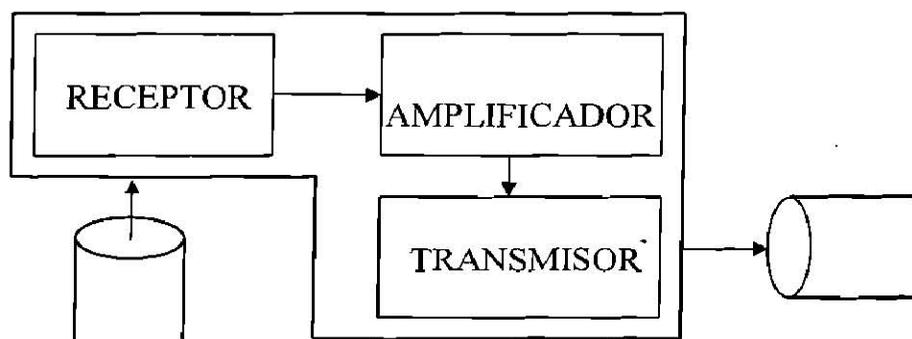


Fig. 9.3 Diagrama de un Repetidor.

La sección del receptor detecta la señal óptica, la convierte a una señal eléctrica la cual es amplificada, restaurada y pasada a la entrada de la sección del transmisor. Este convierte la señal eléctrica de nuevo a una señal óptica y la envía otra vez, ya restaurada y amplificada a la fibra óptica.

TECNICAS DE MULTIPLEXAJE

La implementación de un canal de comunicaciones es muy costosa, este costo puede reducirse mediante la utilización del canal de no sólo un usuario sino de varios que puedan compartir las facilidades del canal.

Multiplexaje o Multicanalización es una técnica que permite que varios mensajes sean transmitidos simultáneamente sobre una trayectoria común. Para dividir la trayectoria física se utilizan básicamente dos técnicas:

- Multiplexaje por división de la frecuencia (**FDM**).
- Multiplexaje por división de tiempo (**TDM**).

Además existe otra técnica que es de uso exclusivo para comunicaciones ópticas.

- Multiplexaje por longitud de onda (**WDM**). (Es una derivación de FDM).

La siguiente figura nos muestra un sistema multiplexor para comunicaciones ópticas:

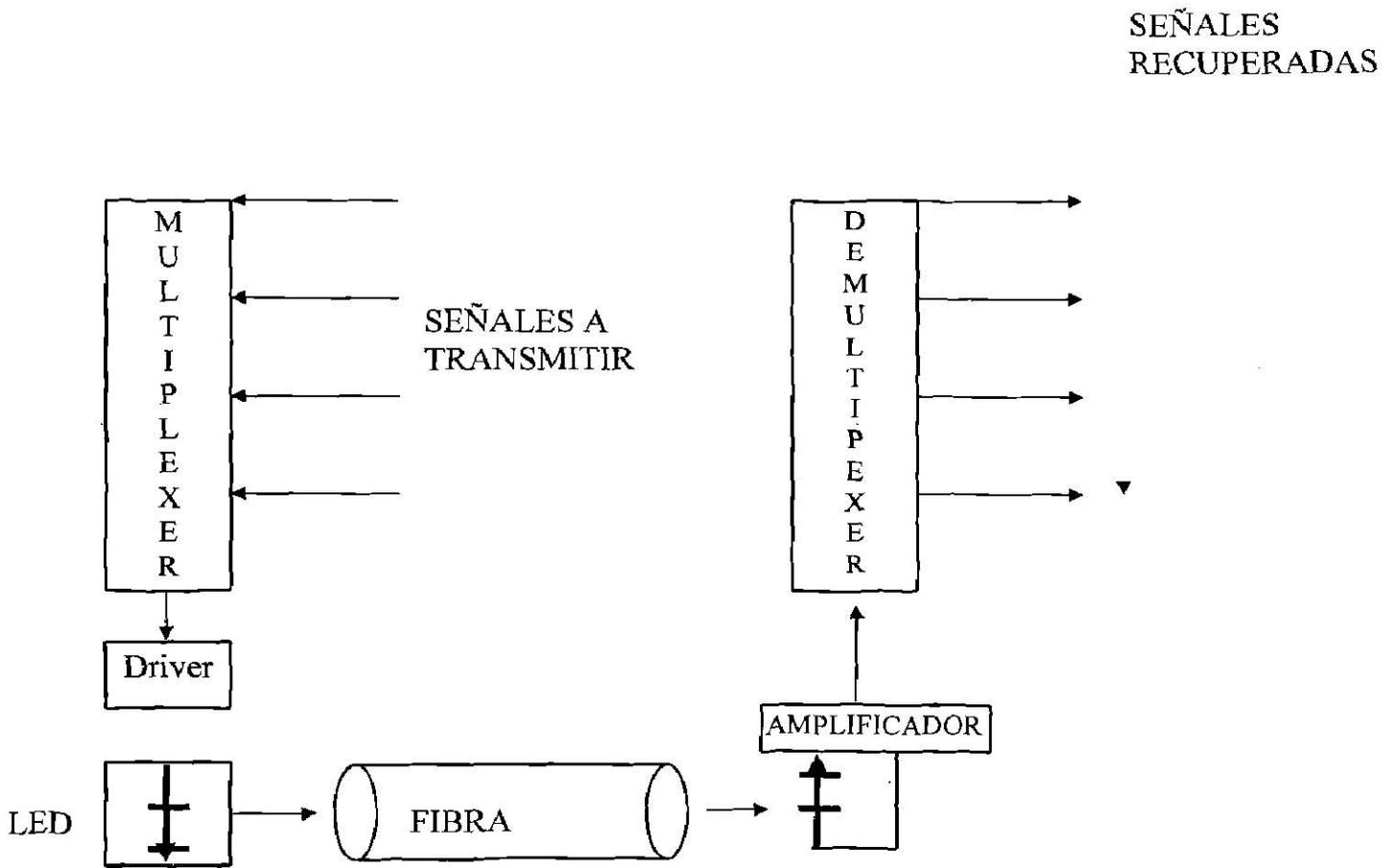


Fig. 9.4 Sistema Multiplexer / Demultiplexer.

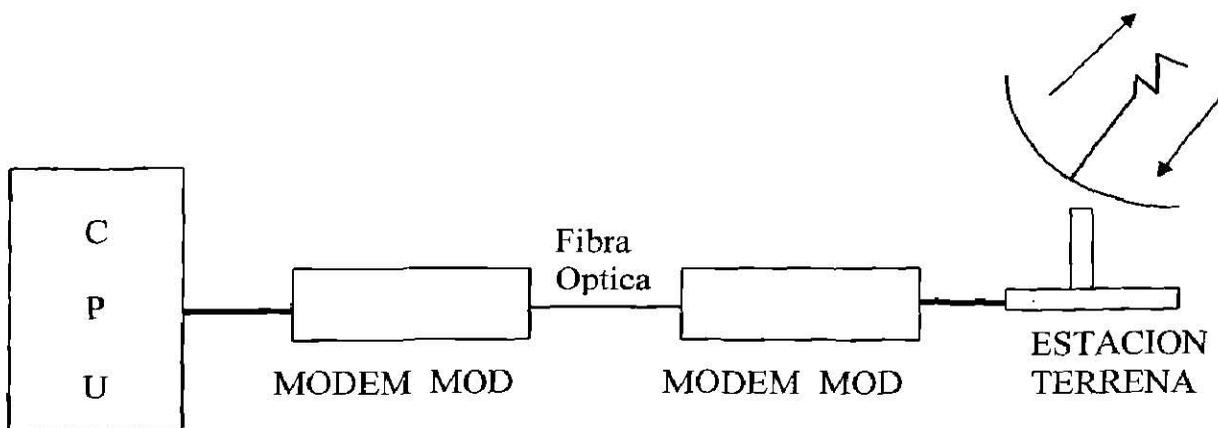


Fig. 9.5 Sistema de comunicación óptico entre un módem y una estación terrena.

La siguiente tabla nos muestra las características ópticas de transmisión
Recepción del módem.

2290 ESPECIFICACIONES DEL MODEM

Diagnósticos indicadores y controladores

Examen del sistema, Potencia óptica, Rx/Tx, Potencia de alarma (2201)

Optical Interface

B.E.R	1 in 10^{10} o mejor
Compatibilidad del cable de fibra óptica.	50 hasta 100 μm Multi-modo
.....	8 hasta 10 μm Fibra Simple
Transmisor	infrarojo LED o diodo láser
Switch de Potencia óptica	reduce 850 nm transmisor de potencia ó dB reduce 1300 nm Tx potencia al menos 3 dB
Longitud de onda	850 o 1300 nanometros
Conector de fibra óptica.	SMA 905/906, ST o tipo biconico
Receptor de Fibra óptica	PIN diodo standard
Larga distancia opcional	A.P.D.
1300 nm LED	PIN (InGaAs)
1300 nm Láser	PIN (InGaAs)
Monomodo	PIN (InGaAs)
Código transmisor.	codificación bipolar
Pérdidas de enlace de fibra óptica:	
Standard 2290	10 dB con 50/125 μm fibra 12 dB con 62.5/125 μm fibra 16 dB con 85/125 μm fibra 17 dB con 100/140 μm fibra
Larga distancia opcional.	20 dB con 50/125 μm fibra 22 dB con 62.5/125 μm fibra 17 dB con 85/125 μm fibra
1300 nm LED Opcional	10 dB con 50/125 μm fibra 12 dB con 62.5/125 μm fibra
1300 nm Láser Opcional.	20 dB con 50 o 62.5/125 μm fibra
Modo Sencillo Opcional.	20 dB con 8 o 10/125 μm fibra

Tabla 9.1 Características de un módem óptico.

CAPITULO VIII

RDI (Red Digital Integrada)

INTRODUCCIÓN

En la década de los ochenta Teléfonos de México recibió de los usuarios peticiones crecientes, para que a través de su red, facilitara sus necesidades de telecomunicaciones, cada vez más complejas.

Sin embargo, las condiciones no habían favorecido un desarrollo más eficiente lo que había ocasionado que los usuarios hayan tenido que multiplicar sus gestiones comerciales para instalar redes privadas apoyadas en recursos ajenos a Telmex, como son los enlaces de microondas terrestres y satelitales.

Esto se hizo más patente en un grupo de usuarios que requerían de atención diferenciada. A este tipo de clientes (distinto de los abonados residenciales) del giro bancario, industrial, gubernamental, turístico e incluso educacional que demandaba servicios de telecomunicaciones de transmisión de voz y datos de alta calidad y confiabilidad, que por ende representaban una fuente muy importante de ingresos y ganancias para Telmex se le denominó "*Grandes Usuarios*".

Sin embargo, las limitantes técnicas del servicio a través de la red anterior, que constaba en gran porcentaje de tecnología analógica, impedían responder adecuada y oportunamente a las necesidades del mercado.

Es así como en 1989 surge la Red Digital Integrada, una red totalmente digital adicional a la red telefónica pública apta para transportar todo tipo de señales de información, que ofrece a los grandes usuarios de Telmex un medio para dar solución a sus requerimientos de comunicación simultánea de voz y datos a altas velocidades con la mayor disponibilidad, confiabilidad y calidad de servicio.

La red hace uso de la tecnología más avanzada en el ámbito mundial de las comunicaciones, para sistemas de transmisión conmutación e interconexión digital.

ESTRUCTURA DE LA RED

La red digital integrada está constituida por nodos de varias categorías donde se localiza todo el equipo de conmutación, transmisión e interconexión digital empleado.

Los nodos están interconectados entre sí fibra óptica y radios de microondas digitales, que permiten establecer comunicación entre dos puntos cualesquiera de la red ubicados dentro de la misma ciudad, en distintas localidades con servicio de red digital integrada, acceso a la red telefónica pública con algún usuario que no esté conectado a la red digital integrada o con acceso a la red de telefonía celular.

INFRAESTRUCTURA POR NODOS

NODOS TELCOM

Son centros de conmutación en los cuales se ubican los sistemas de conmutación de circuitos (centrales digitales) de red digital integrada.

NODOS TELMIC

Infraestructura de transmisión necesaria para el transporte de información apoyándose en sistemas de alta capacidad con tecnología de fibras ópticas y radios digitales.

JERARQUÍA DE NODOS TELMIC

Los nodos Telmic se dividen básicamente en dos tipos: nodos de primer nivel y nodos de segundo nivel.

NODOS DE PRIMER NIVEL

Concentran y distribuyen todo el tráfico proveniente de los nodos de segundo nivel, enrutándolo hacia cualquier otro nodo Telmic o hacia los Telcom de la propia red.

NODOS DE SEGUNDO NIVEL

Contienen toda la infraestructura de transmisión necesaria para conectar a los usuarios con la red digital integrada, y de ser necesario enrutar hacia nodos de primer nivel.

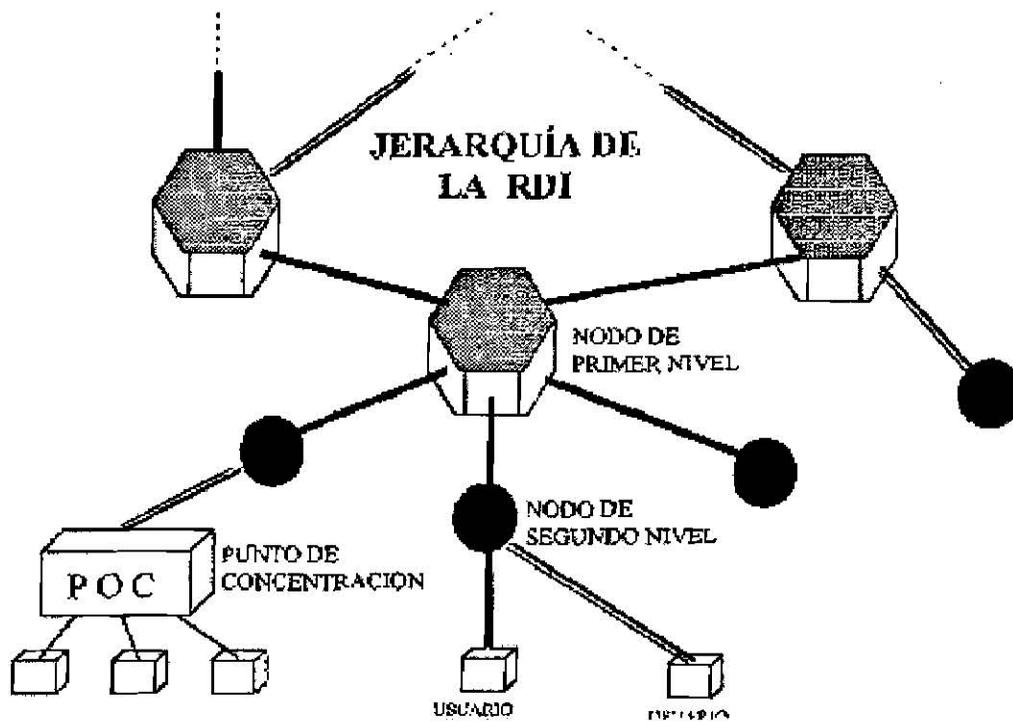


Fig. 10.1

CONEXIONES DE USUARIOS

La red digital integrada proporciona conexión digital de troncales PBX de 64 kB entregando al usuario de 2 MB (30 troncales) hacia el conmutador digital del usuario.

En el caso de conmutadores analógicos, la conexión se lleva a cabo mediante concentradores remotos, en donde se enrutan 100 troncales analógicas por cada 60 troncales digitales (2 sistemas de 2 MBPS).

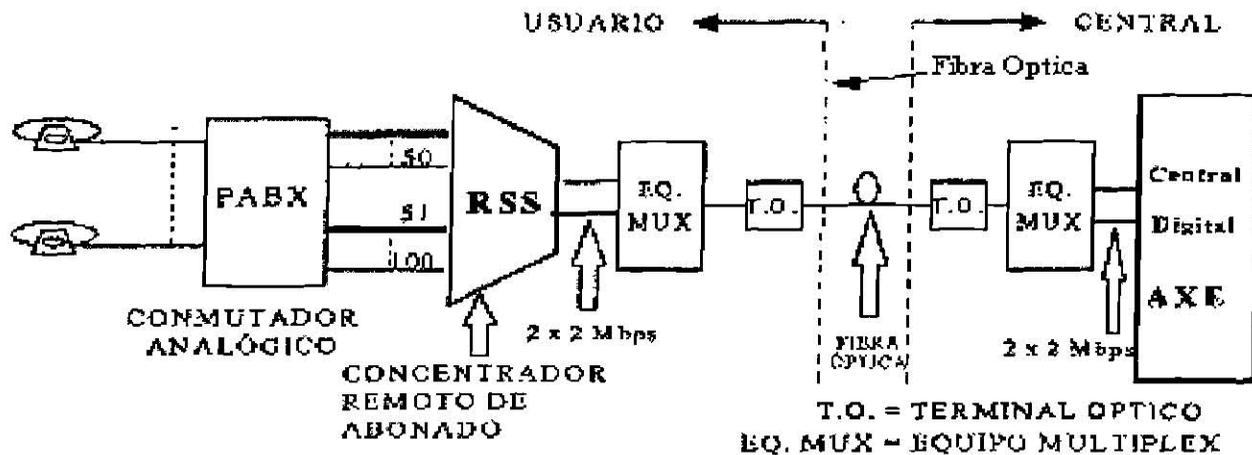


Fig. 10.2 Conexión de Conmutadores Analógicos al Sistema AXE mediante RSS.

INFRAESTRUCTURA DE TRANSMISIÓN LOCAL

La infraestructura que soporta la interconexión entre nodos Telcom y Telnic en cada localidad está constituida por sistemas digitales de transmisión de alta capacidad basada en sistemas ópticos y radios digitales. Los enlaces entre nodos (de primer y segundo nivel) tienen un velocidad de transmisión de 140 Mbps y configuraciones del tipo n+1. Se prevé la posibilidad de aumentar la capacidad de cada uno de estos enlaces hasta 565 Mbps. Los enlaces de usuario se consideran con velocidades de 8.34 y 140 Mbps con capacidades que van desde 120 hasta 3840 canales como es el caso de algunos Grandes Usuarios.

En primera instancia se intenta contar a todos los usuarios de Red Superpuesta a través de sistemas ópticos con las capacidades antes mencionadas. Sin embargo, los casos en que no se tenga disponibilidad de canalización, se conecta al usuario a través de un radioenlace digital y cuando se tenga facilidades para instalar el sistema óptico se realiza el cambio de los circuitos de un medio de transmisión a otro. Este permite cumplir con la premisa de disponibilidad ofrecida por esta Red.

Todos los enlaces que conforman la Red (tanto de usuario como entre nodos) aseguran un alto grado de confiabilidad ya que cuentan con sistemas de respaldo del tipo n+1.

Con el fin de alcanzar un mayor grado de confiabilidad en la Red, se han introducido los sistemas de interconexión y acceso digital en todos los nodos, teniendo de esta manera posibilidades de reconfigurar cualquier enlace en forma casi inmediata desde centros dedicados mediante el empleo de software especializado.

CENTROS DE CONTROL Y MANTENIMIENTO

Con el fin de garantizar una buena administración y supervisión de la Red que permita cumplir con la premisa de confiabilidad con que ha sido creada, se instalaron al menos un Centro de Control y Mantenimiento (CCM) en cada ciudad que cuenta con una infraestructura de R.D.I. En este centro se conectaron todas las alarmas generadas en equipo de transmisión y conmutación, desplegándose en una forma clara que nos permita identificar rápidamente el tipo, la urgencia y la localización de la alarma detectada. En este mismo centro se ubica el sistema de monitoreo y reconfiguración de los enlaces creados. Este sistema permite supervisar constantemente el grado de ocupación de cada enlace y reconfigurado en caso de saturación o falla. Se puede asignar prioridad a los canales y automáticamente el sistema busca rutas alternas para esto en caso que se presente algún desperfecto, indicando en el CCM que tipo de falla es y donde se presentó, así como la nueva configuración de los enlaces. Cabe la posibilidad de que el operador realice la reconfiguración mediante software especializado. Este mismo sistema es capaz de efectuar pruebas y mediciones remotas en los enlaces mediante una Red dedicada de mediciones que verifica la calidad de los mismos en el momento que se desee.

Como complemento a estos sistemas se tiene una gran variedad de equipos de medición para los sistemas ópticos y radioenlaces. Con una infraestructura de supervisión como la descrita se reduce considerablemente el tiempo de respuesta a fallas y se optimiza la capacidad de la red mediante una administración efectiva.

INFRAESTRUCTURA DE TRANSMISIÓN DE LARGA DISTANCIA

DISTANCIA

Para intercomunicar las ciudades que cuentan con una infraestructura de R.D.I. y cumpliendo con la premisa de crear una red completamente digital, se hace uso de las facilidades proporcionadas por la Red Digital de Microondas de Larga Distancia TELMEX.

RED SATELITAL

Para las ciudades o poblaciones que no están contempladas en la Red Digital de Microondas de Telmex o aquellas cuyo ingreso a la misma se tiene previsto para etapas posteriores, o que geográficamente se encuentren aisladas, pero cuenten con usuarios que requieran la conexión a la Red Digital Integrada se considera el uso del Satélite SOLIDARIDAD a través de una red de estaciones terrenas con cobertura nacional que permiten el acceso a estos usuarios a una red que proporciona ventajas técnicas y económicas respecto a las soluciones convencionales con medios terrestres. Como ya es conocido, todo sistema satelital consta de dos partes: El segmento espacial y el segmento terrestre. En el caso de la Red Digital Integrada se utilizó el Sistema de Satélites Morelos (SSM) y ahora el Solidaridad para administrar el sistema espacial. El segmento terrestre está formado por una red de estaciones terrenas construido por una determinada cantidad de antenas maestras, cada una asociada a un grupo de estaciones remotas en configuración estrella. Una red de este tipo nos permite establecer conexiones entre estaciones remotas (conexiones punto a punto) o bien, proporcionar el acceso de cualquier estación remota a la RDI.

Cada estación terrena está compuesta por dos partes: La antena (parte externa) y la unidad de abonado (parte interna). En la primera se incluye la antena parabólica, la guía de onda y el equipo de radiofrecuencia. La unidad de abonado considera la distribución de frecuencias intermedias para la distribución de canales de voz, datos y monitoreo remoto, así como los módems, controladores y enrutadores.

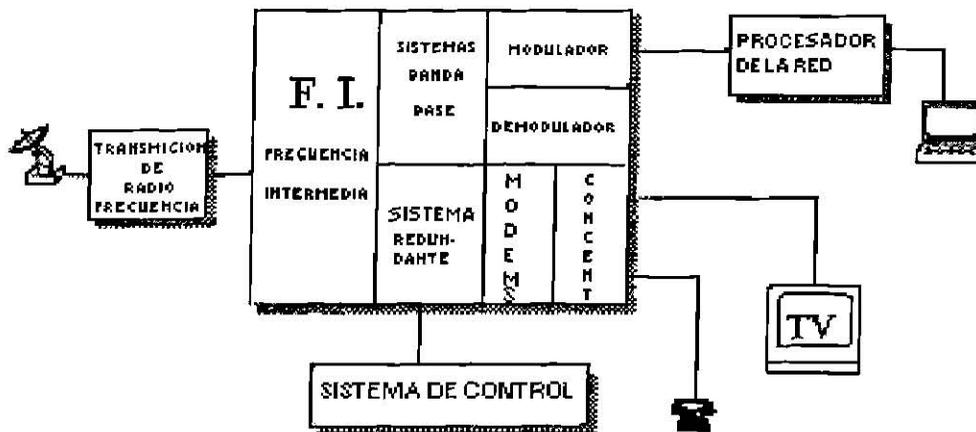


Fig. 10.3 Configuración básica de una estación maestra (HUB)

Se utilizan antenas VSAT de 1.2 metros de diámetro como estaciones remotas. Estas antenas proporcionan una capacidad equivalente a un canal de servicio. Para los enlaces de alta capacidad (nx2 Mbps) se cuenta con antenas de 3.6 a 9.0 metros de diámetro.

Para la red de estaciones terrenas del tipo VSAT o de baja capacidad, la Red Satelital de 64 Kbps empleando una técnica de acceso preestablecido al satélite tipo SCPC (Single Chanel Per Carrier), operando en la banda Ku. Para la banda C se estima una capacidad de 8 enlaces de 2 Mbps.

La configuración final contempla la utilización de cuatro antenas maestras distribuidas estratégicamente a lo largo del territorio nacional con una capacidad de 1400 portadores de 64 Kbps.

Actualmente se encuentran en uso algunos sistemas de diversos proveedores que emplean técnicas MCPC (Multi Channel Per Carrier) y TDMA (Time División Múltiplex Access) considerando incluso acceso con técnica DAMA (Demand Asignament Multiplex Access) con el fin de optimizar el uso de las portadoras.

Fig. 10.4 R. D. I. NACIONAL
(F. O.)

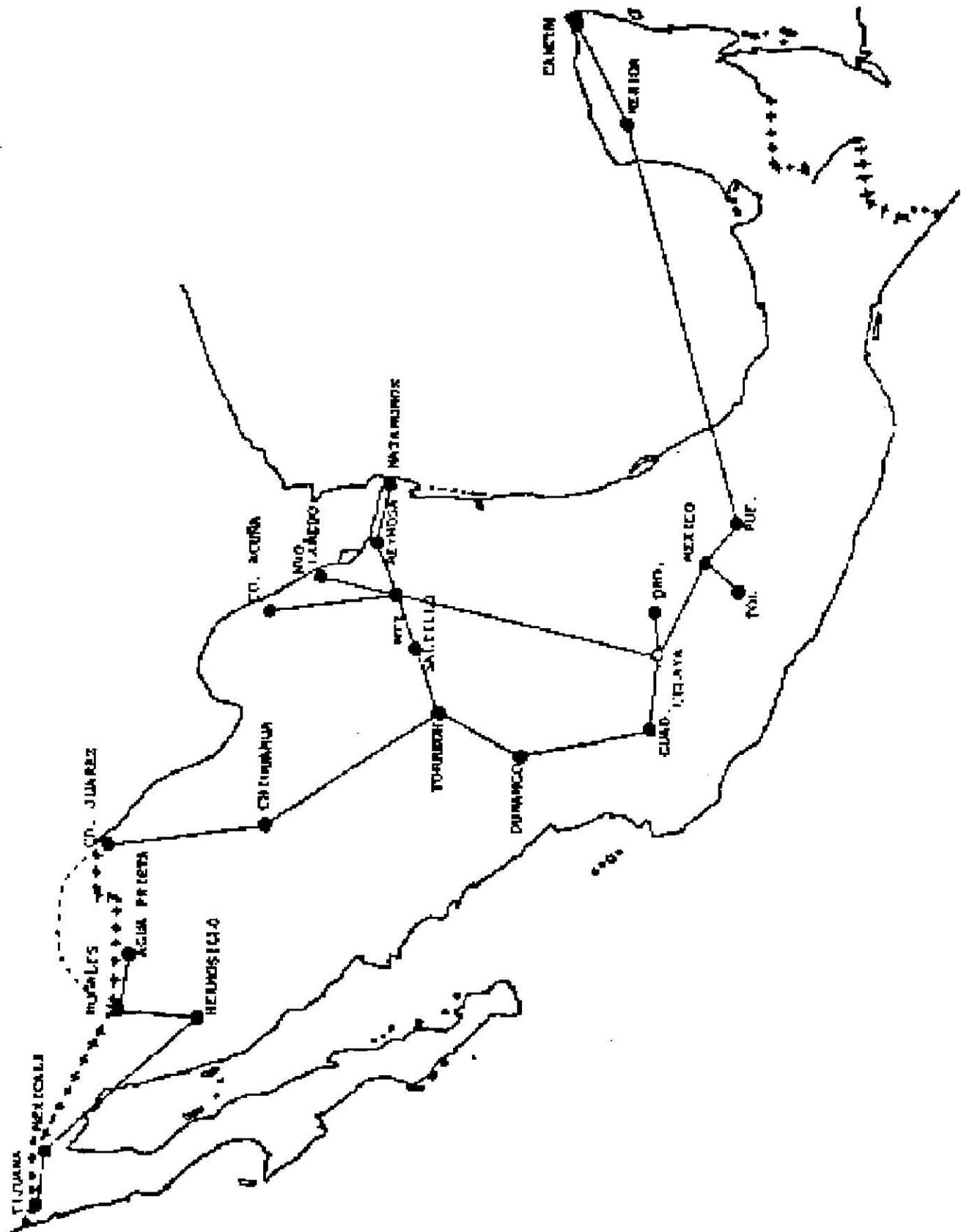
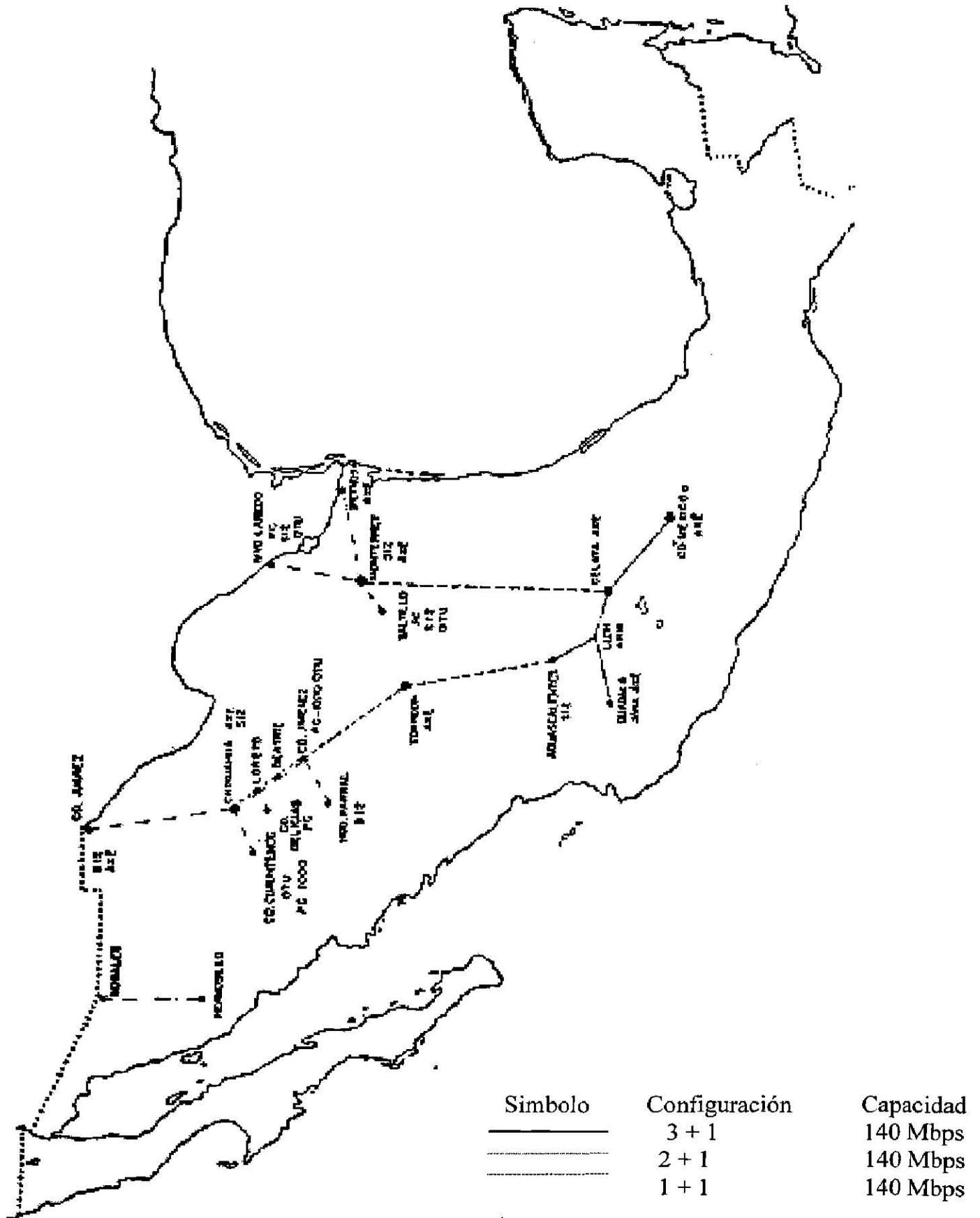


Fig. 10.5 RED DIGITAL DE MICROONDAS TELMEX



RED DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES

Como complemento a los servicios de R.D.I. se consideró la creación de una Red Pública de Transmisión de Datos con la Técnica de Conmutación de Paquetes. Esta red, llamada Red Universal Telmex (R.U.T.) se está comenzando a emplear para conectar entre sí equipos terminales y computadoras que requieran transmitir bajos volúmenes de información con diferentes características, velocidades y protocolos de comunicación en una manera eficiente, económica y confiable.

Esta red contempla tres elementos básicos a saber: Red de transporte, Red de abonado y Red de control.

Tiene una topología de red tipo malla que permite ofrecer una alta confiabilidad y disponibilidad así como un crecimiento que puede realizarse en forma modular. Se ofrecerán servicios para equipos síncronos y asíncronos, entre los cuales se incluirán los siguientes:

- Circuitos virtuales conmutados permanentes
- Grupo cerrado de abonados
- Comunicaciones por cobrar
- Conversiones de protocolos
- Selección rápida

El acceso a los usuarios de la red podrá hacerse en forma síncrona y asíncrona empleando los nodos TELMIC de la R.D.I. para bajas y altas velocidades. Los protocolos que soporte la Red estarán de acuerdo con las recomendaciones del CCITT. Para terminales y computadoras asíncronas se emplearán las recomendaciones X.3, X.28, X.29 mientras que en los equipos síncronos se usará X.25. El acceso a la red incluirá equipos que a pesar de no estar bajo una recomendación del CCITT su aplicación es reconocida mundialmente, tal es el caso de los protocolos de IBM, 3270, SDLC y 2780/3780 por ejemplo.

La red de datos planteada tendrá capacidad para interconectarse con cualquier red de datos a nivel nacional (incluyendo la red de la SCyT TELEPAC) que tenga como norma las recomendaciones del CCITT. Además se busca contar con conexiones propias a otras redes internacionales mediante la recomendación X.75.

SISTEMA DE INTERCONEXIÓN Y ACCESO DIGITAL (DACS)

Es una terminal adaptable e inteligente que suministra una variedad de interconexiones semipermanentes entre canales formateados en flujos de 2048 Mbps junto con la señalización asociada al canal, utilizada para transmitir información de control a través de la red. Estos circuitos pueden suministrarse, probarse, reasegurarse unidireccional y bidireccional, punto a punto y difusión a 64 y $N \times 64$ Kbps. El equipo puede realizar conversión de ley μ /ley A, permite la prueba de canales de 64 Kbps que pasan a través de él en modo de acceso monitor y split. Todas las interfaces de operaciones internas son estrictamente digitales.

El sistema DACS II consiste de:

- Unidades de terminación de facilidades con módulos de terminación de facilidades.
- Una red de interconexión no - bloqueable.
- Un sistema de control que consta de: controlador principal, unidades de control, sincronizador complicado y unidades de disco y cinta.
- Como opción unidades de procesamiento de señal digital.

Este equipo puede operar en redes sincronizadas o en "islas" aisladas de temporización en un ambiente CEPT, con una precisión correspondiente a una central local a TOLL, y puede sincronizarse de acuerdo con el CCITT en las siguientes formas:

- Con una señal recibida de 2048 Mbps.
- Con una fuente externa de 2048 Mbps.
- Con un oscilador interno.

El sistema cuenta con puertos síncronos y asíncronos para que a través del controlador principal pueda suministrar, probar y reconfigurarse los circuitos digitales en forma local o remota mediante un sistema de soporte de operaciones basado en computadora. El repertorio de comandos permite obtener el estado del sistema y un extensivo diagnóstico para aislar fallas hasta nivel circuito. Por medio de las unidades de disco y cinta magnética es factible tener una base de datos con información del sistema para una rápida recuperación en caso de fallas catastróficas. El sistema puede actualizarse en software y hardware sin perturbar el tráfico existente.

El diseño del sistema se basa en el uso extensivo de tecnología VLSI con lo se obtiene un tamaño reducido, lo cual también repercute en un bajo consumo de potencia, teniendo un consumo menor a 2 W por cada puerto de 2 Mbps.

Se tiene 3 versiones del sistema DACS II:

- El primero es de un solo bastidor con capacidad máxima para 128 puertos de 2 Mbps.
- El segundo tiene dos bastidores con capacidad para 256 puertos de 2 Mbps.
- El tercero cuenta con tres bastidores hasta para 512 puertos de 2 Mbps.

El equipo de 2 bastidores puede recibir un tercer bastidor sin perturbar el tráfico existente. Una característica importante es la alta confiabilidad que sustenta al duplicar todo el tráfico transportado por los circuitos (excepto interfaces) y protegiendo la alimentación en una base N+1 , adicionalmente toda la circuitería de sincronización está duplicada.

La alimentación requerida para estos circuitos es el voltaje estándar de -48 VCD, disponible en centrales telefónicas.

IMPLEMENTACION

Uno de los principales criterios de diseño observados en la Red Digital Integrada es el de ofrecer una alta disponibilidad de servicios. Esto es, el poder atender las necesidades de los usuarios que requieran volúmenes muy grandes de servicios en un número mayor de líneas al estimado de demanda, en forma tal que siempre conservemos una capacidad de reserva, que nos permita comercializar la Red Superpuesta con desahogo tal como se observa en la fig. 10.6.

En su primera fase la Red Digital Integrada contempló atender las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara con una capacidad total de 25,000 troncales PABX. Sin embargo se proyectó instalar infraestructura de Red Superpuesta en 22 ciudades para los primeros 5 años de operación (1989-1993) con aproximadamente 200,000 troncales PABX construidas.

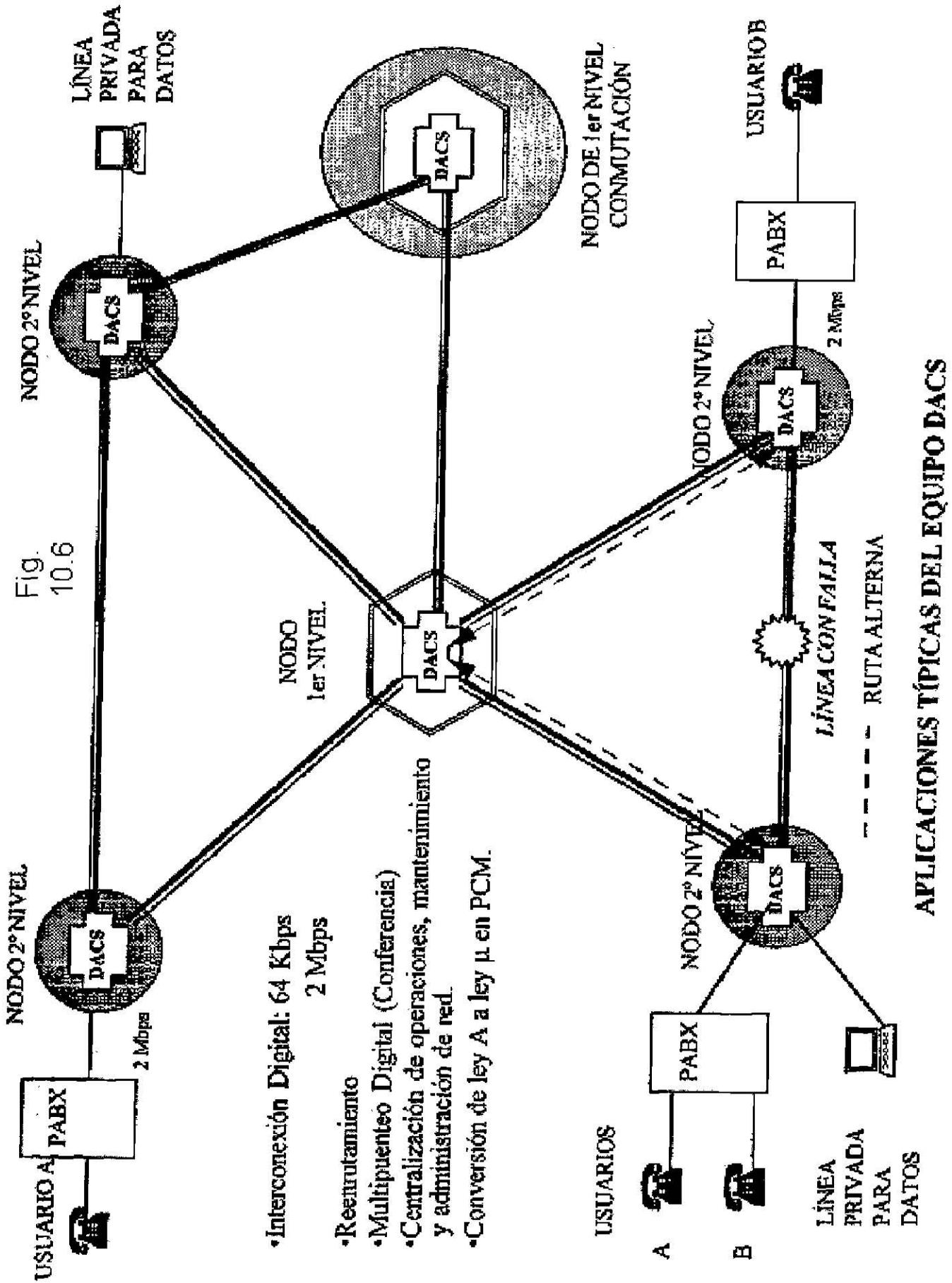


Fig. 10.6

- Interconexión Digital: 64 Kbps
2 Mbps
- Reenrutamiento
- Multiplexión Digital (Conferencia)
- Centralización de operaciones, mantenimiento y administración de red.
- Conversión de ley A a ley μ en PCM.

APLICACIONES TÍPICAS DEL EQUIPO DACS

TECNOLOGÍA UTILIZADA POR LA R.D.I

La R.D.I. fundamenta su funcionamiento en un manejo totalmente digital de la información para lo cual se hace uso de la mas avanzada tecnología disponible en el mercado. Como consecuencia de los servicios a ofrecer por la Red, se utiliza una amplia gama de tecnologías de acuerdo a la técnica de conmutación o transmisión empleada.

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

EQUIPOS MULTIPLEXORES

La Red Superpuesta o Red Digital Integrada emplea equipos multiplexores desde primer orden (30 canales) hasta cuarto orden (1920 canales), estos equipos son de diseño compacto basado en el uso de tecnología de montaje de superficie y componentes VLSI con circuitería CMOS con lo que se logra un reducido consumo de potencia. Los equipos emplean microprocesadores los cuales facilitan el mantenimiento, localización de fallas y reconfiguración de red. Presentan además diferentes alternativas para el multiplexaje de circuitos:

- a) Estándar: 2/8 Mbps, 8/34 Mbps, 34/140 Mbps.
- b) Skip: (eliminando pasos intermedios): 2/34 Mbps, 8/140 Mbps.
- c) Intersección/extracción: 34/8 Mbps, 34/2 Mbps, 140/34 Mbps, 140/8 Mbps.

Aunando a esto, por medio de control de software es factible relocalizar circuitos, aumentar o disminuir la capacidad del sistema, ajustar o parametrizar el sistema en lugar de emplear "U" Links, realizar loop-back remoto, etc. Todo esto se programa mediante una terminal manual.

SISTEMAS ÓPTICOS

Estos equipos realizan la conversión electro-óptica para la transmisión de voz y datos a través de fibras ópticas, su diseño se basa en el empleo de tecnología híbrida de película delgada y uso extensivo de circuitos integrados, lo que proporciona equipos de diseño compacto y bajo consumo de potencia de acuerdo al diseño de la R.D.I., se hace uso de equipo que cubre velocidades desde 8 Mbps hasta 565 Mbps. Las características mas relevantes de estos equipos se mencionan a continuación:

Tabla 10.1 Características del equipo óptico

Velocidad Mbps	Interface Eléctrica		Interface Óptica Vel. (Mbauds)	Long. Onda Nanometros	Tipo de Fibra	Dist Kms.	TX	RX
	Código	No.de Canales						
8 Mbps	HDB3	120	8 848	1330	Monomodo	20	ELED	PIN-FET
34 Mbps	HDB3	480	43 991	1330	Monomodo	50	LÁSER	PIN-FET
140 Mbps	CMI	1920	1920	1330	Monomodo	50	LÁSER	PIN-FET
565 Mbps	CMI	7 660	7660	1330	Monomodo	40	LÁSER	PIN-FET

Su tamaño compacto permite alojar estos sistemas en bastidores normales de 19 pulgadas.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES

	Cable para planta externa	Cable para interiores
Número de fibras	6 ó 12	6 ó 12
Diámetro exterior	15.7 mm	13mm
Radio mínimo de curvatura	30cm	30cm
Tipo	Armado	Sin armadura
Elemento central de esfuerzo	Acero cubierto con polietileno	Acero cubierto con polietileno
Tensión máxima	2700N	1000N
Peso por metro de cable	0.255Kg/m	0.160Kg/m
Temperatura	-30 °C a +70°C	-30°C a +70°C

Ambos cables cuentan con protección secundaria de tubo holgado en configuración de 6 tubos con una y dos fibras con tubo. Las fibras ópticas es del tipo monomodo de vidrio de cuarzo optimizado para operar en 1300 nanometros de acuerdo con la recomendación CCITT G.652 y presenta las siguientes características:

Diámetro del modo de programación	10+/-1 micrómetro
Índice de refracción	1.463
Diámetro del revestimiento	125+/-3 micrómetro
Índice de refracción del Revestimiento	1.458
Ancho de banda	100 GHz-Km
Longitud de onda	1300 nanómetros
Atenuación por longitud	0.5dB/Km
Atenuación por empalme	0.3dB/empalme
Atenuación por conector	1.0 dB/conector
Número de canales por fibra	4x1920 (565Mbps)
Número de canales por cable	(6x4x1920) o (12x4x1920)

Características de la Fibra

SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

Equipos DRS 2-8-34-140/18700

Es un equipo de radio enlace para transmisión de señales digitales en la gama de RF de 17.7 GHz. a 19.7GHz. Se transmite tasas binarias de 2,8,34,140 Mbps según la versión. Esto a la transmisión de 30.120,480 y 1920 canales telefónicos codificados en PCM respectivamente. Como opción tiene una disposición un canal analógico con 300 Hz a 2.4 KHz.

Las interfaces para 2,8,34 y 140 Mbps cumplen con las recomendación de G.703 del CCITT. Las frecuencias de canal de RF, para las diferentes velocidades han sido determinadas con la banda de frecuencia indicada en la recomendación 595 del CCIR. Esta trama de frecuencias puede ajustarse con pasos de 2.5 Mhz por medio del sintetizador.

El equipo puede alimentarse con voltaje de batería de 24, 48 ó 60 VDC o con tensión alterna de red de 220VAC.

La conmutación de protección para las tasas binarias adecuada se hace a través de un relevador que se encuentran en la caja de conexiones.

El equipo esta alojado en una caja de interperie de aluminio fundido que va provisto con una antena integrada. La antena integrada esta protegida por un domo. La caja de interperie permite una instalación rápida y fácil incluso en sitios sin la infraestructura usual de las administraciones telefónicas. La conexión de dos equipos a una antena se efectúa siempre a través de un diplexor de polarización que se encuentra en la caja de interperie, en caso de empleo con antena integral el diplexor de polarización permite la operación sin separar canales, gracias al desacoplamiento de polarización de la antena integral.

Características técnicas de operación.

- | | |
|--|-----------------|
| - Separación mínima entre canales adyacentes | 2.5MHz |
| - Velocidad de transmisión. | 2 8 34 140Mbps. |

R.D.I. AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

CONFIGURACION

Para la ciudad de Monterrey la Red Superpuesta ha considerado una topología de red híbrida en donde se combinan las ventajas de una red tipo estrella con una tipo malla. Originalmente se formaron dos islas cada una con un nodo TELMIC de primer nivel que atienden a un total de ocho nodos de segundo nivel simulando dos redes tipo estrella. Los dos nodos de primer nivel están conectados entre sí por medio de un enlace directo. Sin embargo como medida de seguridad y previendo una ruta de desborde que nos ayude a optimizar el tráfico generado entre estos nodos se ha creado una ruta indirecta entre los nodos Santa Fe y Mayo a través de Central Anáhuac. La distribución de estos nodos se ha hecho de tal forma que se atiendan todas las zonas de usuarios potenciales de esta ciudad.

La figura nos muestra la configuración de la Red Superpuesta para Monterrey durante 1989.

Para la creación de los nodos TELMIC y TELCOM se han usado los edificios de las centrales ya existentes.

La Red Digital Integrada de Teléfonos de México

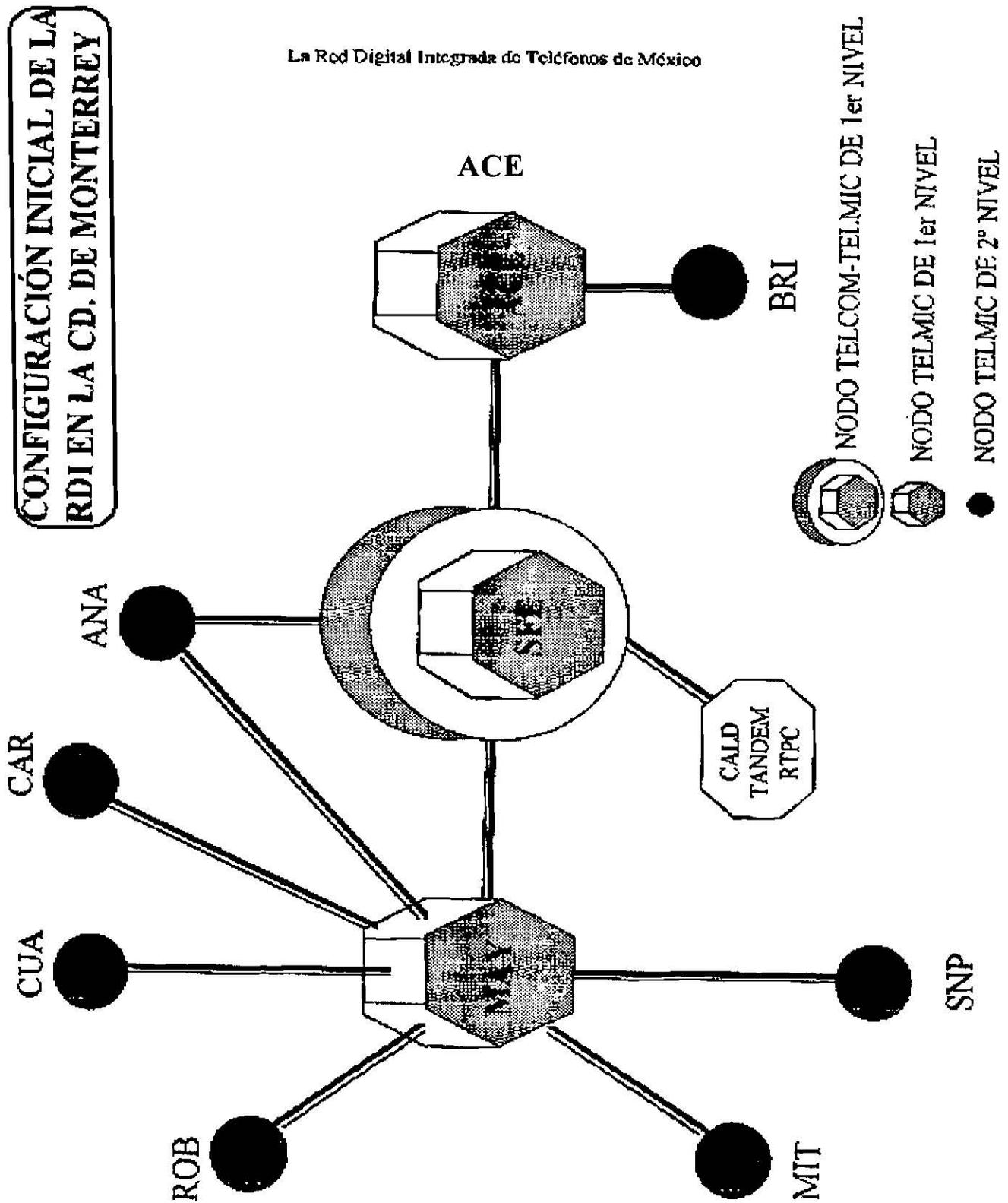


Fig. 10.7

Una vez que se ha presentado la topología de red y los espacios que se han asignado es conveniente indicar el tipo de equipo y la capacidad del mismo que se ubica en cada nodo o que constituye cada enlace.

EQUIPOS DE CONMUTACIÓN

La ciudad de Monterrey desde su fase inicial y hasta fechas recientes operó con un solo nodo TELCOM que alberga una central digital de conmutación de Red Superpuesta del tipo AXE-10 adquirida a Teleindustria Ericsson. En su primera fase se instalaron 6000 troncales PABX ampliando su capacidad hasta 10,000 en 1990 distribuidas de la siguiente manera:

PRINCIPALES ENLACES DE NODOS R.D.I. EN MONTERREY

En la tabla siguiente se ilustra la capacidad de cada enlace para esta ciudad.

ENLACE	DISTANCIA (Km)	MEDIO DE TRANSMISION	CAPACIDAD
SFE-ANA	8.4	Fibra Óptica	622 Mbps (1+1) SDH
MAY-CAR	5.2	Fibra Óptica	140 Mbps (1+1)
SFE-ACE	3.3	Fibra Óptica	140 Mbps (2+1)
ACE-BRI	12.7	Fibra Óptica	565 Mbps (1+1)
SFE-MAY	8.1	Fibra Óptica	140 Mbps (1+1)
MAY-CUA	2.0	Fibra Óptica	140 Mbps (2+1)
MAY-ROB	7.8	Fibra Óptica	140 Mbps (1+1)
MAY-MIT	4.5	Fibra Óptica	140 Mbps (3+1)
MAY-SNP	14.5	Fibra Óptica	140 Mbps (2+1)
MAY-ANA	7.6	Fibra Óptica	140 Mbps (2+1)

Tabla 10.2

SERIES NUMÉRICAS DE LA RED RDI EN MONTERREY

Se han asignado tres series del plan de numeración para los servicios de Red Superpuesta. Las series en cuestión son 19, 29 y 69. Se cuenta con tres series más como reserva las cuales son: 18, 28 y 68.

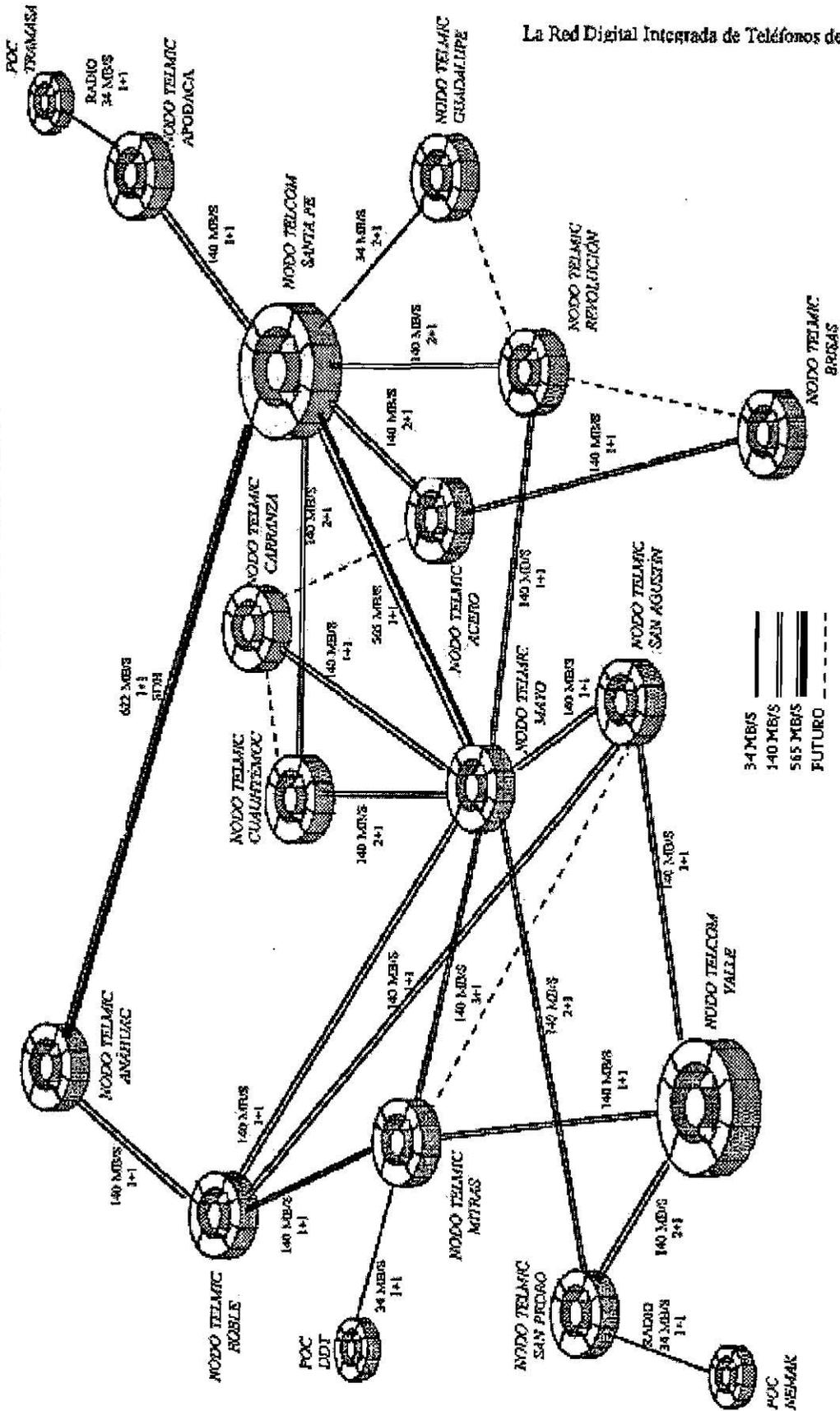
EQUIPOS DE TRANSMISIÓN

Para la ciudad de Monterrey se usan sistemas de 140 Mbps en casi todos los enlaces principales entre nodos de primero y segundo nivel. Los sistemas ópticos y radios de baja capacidad (8 Mbps) son suministrados por Teleindustria Ericsson.. Las terminales de radio de alta capacidad (34 y 140 Mbps) serán adquiridas de SEL (Standard Elektrik Lorenz) a través de ALCA TEL-INDETEL o DCM (Digital Microwave Corporation).

Se instaló un total de 10 sistemas principales de los cuales 8 fueron sistemas ópticos y dos radio enlaces digitales, más de 55 sistemas para la conexión de usuarios.

Es conveniente hacer notar que se tienen sistemas minilink de 140 Mbps que podrán ser instalados en un tiempo muy reducido en aquellos locales de usuarios que requieren de sistemas de alta capacidad para conectarse a la Red.

Fig. 10.8 R.D.I. MONTERREY ARQUITECTURA DE LA RED TRONCAL



CAPITULO IX

PROGRESO EN LA TECNOLOGIA DE LA FIBRAS OPTICAS Y SU IMPACTO EN EL FUTURO DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES

INTRODUCCION

Ya han pasado casi 15 años desde el comienzo de las investigaciones a gran escala y el desarrollo de los sistemas de transmisión de fibras ópticas. Durante este período se han desarrollado muchas tecnologías a fin de mejorar las altas deficiencias en costos y sistemas de transmisión. Estas son tres grandes tecnologías, que utilizan muy bajas pérdidas en la región de ancho de banda de la fibra en un rango desde 1300 nm a 1500 nm utilizando la fibra monomodo la cual utiliza grandes transmisiones en un ancho de banda, alta velocidad y un amplio ancho de banda en sus transmisiones que son tres propiedades inherentes de la fibra.

El desarrollo de esta tecnología al igual que el gran progreso en la tecnología LSI, ha reducido drásticamente el costo de transmisión y ha aumentado la distancia entre repetidores y la capacidad de transmisión en los sistemas de transmisión entre troncales. Estos avances han jugado y seguirán jugando un importante papel en el acelerado crecimiento de las redes digitales.

Recientemente han surgido tecnologías en las comunicaciones por fibra óptica, las cuales hace un avance inherente en las transmisiones de la luz. Esto incluyendo una transmisión coherente de la luz, incluyendo amplificación y procesamiento de la luz, al igual que la alta velocidad de transmisión de esta tecnología va a ser una gran influencia en las futuras redes de telecomunicaciones. Este trabajo describe el reciente progreso en estas nuevas tecnologías y su impacto en el futuro de las redes de telecomunicaciones.

UN VISTAZO EN EL PROGRESO DE LA TECNOLOGIA

La compañía RESEARCH AND DEVELOPMENT (R&D) se inició simultáneamente a través de todo el mundo en 1970 cuando apenas se veían los sistemas que contaban con bajas pérdidas en las fibras ópticas en cuartos controlados y los láser semiconductores apenas estaban en experimentación. Desde entonces mucho esfuerzo ha tenido que pagar R&D para tener sistemas de transmisión. Ahora los sistemas de transmisión de fibra óptica son utilizados extensamente en las redes de comunicación alrededor de todo el mundo. Desde sistemas de transmisión de baja capacidad hasta el sistema de transmisión de alta capacidad tales como el sistema de transmisión submarino internacionales. Ahora las tecnologías de fibras óptica son consideradas esenciales para la

realización de las infraestructuras necesarias para el futuro en bandas de transmisión ISDN y de igual manera para mejorar los sistemas existentes de comunicación.

El progreso en los sistemas de transmisión en la fibra óptica en Japón. Estos sistemas están categorizados por tres parámetros de sistemas : velocidad de transmisión, tipo de fibra y ancho de banda.

En las primeras etapas de desarrollo los mayores esfuerzos se hicieron directamente en el desarrollo de sistemas de transmisión de capacidad media para uso en sistemas urbanos los cuales tenían una capacidad de 100 Mbps en la fibra multimodo trabajando en la región de 0.85m, por esto los sistemas de baja capacidad fueran altamente costoso y los de alta capacidad eran poco confiables, estos sistemas deberían de tener sistemas de repetición aproximadamente cada 10Kms. Después con el descubrimiento de la región de 1.3m se aumentó el área repetidores a 53.3Kms. en la velocidad de 32Mbps. Estos resultados revelaron que los sistemas de transmisión por fibras ópticas iban a ser grandes rivales de los sistemas de transmisión por microondas.

En 1980 se presentó un sistema de alta capacidad el cual realizó transmisiones en velocidades de 400 a 800 Mbps esto pudo realizarse gracias al desarrollo de la fibra monomodo y sus componentes como conectores, módulos láser y dispositivos electrónicos con gran respuesta a altas velocidades.

La fibra monomodo y su tecnología de modulación-demodulación a altas velocidades junto con los dispositivos de baja pérdida de dispersión en la región de 1.55m. han hecho posible realizar sistemas de transmisión más eficientes y económicos con menor cantidad de repetidores.

El gran progreso de los sistemas de transmisión fue alcanzado gracias a tres grandes desarrollos tecnológicos.

1. El uso de las bajas pérdidas en las longitud de onda utilizando la región de 1300nm a 1500nm.
2. El desarrollo de la tecnología de la fibra monomodo el cual garantizó un ancho de banda extremadamente amplio.
3. El desarrollo tecnológico de la transmisión a alta velocidad incluyendo equipo electrónico y óptico de alta velocidad.

IMPACTO DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES.

El desarrollo de estas tecnologías incrementó drásticamente las distancias entre repetidores y la capacidad de transmisión dando por resultado la reducción de costos, esto también ha hecho que existan simplificaciones en el área de operación y mantenimiento, así como el crecimiento de las redes digitales.

LA NUEVA GENERACION DE TECNOLOGIA.

Como hemos descrito anteriormente la R&D ha hecho énfasis en los equipos inherentes de la fibra óptica así como transmisiones medias, bajas pérdidas, amplio ancho de banda, excelente inmunidad electromagnética, diámetro pequeño, etc.

Por otro lado el mayor enfoque que le ha dado a las nuevas generaciones es la transmisión de información con una portadora de luz. Obteniéndola de una señal electromagnética. Las nuevas generaciones van a ser caracterizadas por tres innovaciones tecnológicas las cuales son :

1. Ultra alta velocidad en transmisiones de larga distancia
2. Guías de onda coherentes
3. Procesamiento de señales ópticas.

TECNOLOGIA DE ULTRA ALTA VELOCIDAD EN TRANSMISIONES DE LARGA DISTANCIA.

Los equipos electrónicos en los sistemas de transmisión son los que han frenado la alta velocidad. La electrónica basada en Silicio ahora es la mas utilizada en sistemas de transmisión con velocidades de Gbps y con el rápido progreso basado en la tecnología de Ga-As, y/o In Ga-As tales como el MESFET GaAs, HBT Ga-As (Transistor Heterogéneo Bipolar) y el BCT In-Ga-As (Transistor de Colección Balístico) los circuitos electrónicos de ultra alta velocidad puede ser operados desde 10Gbps hasta 100Gbps.

Por otro lado la tecnología de los circuitos ópticos pueden jugar un papel vital para sobre pasar las limitantes de velocidad de los circuitos electrónicos, por ejemplo, en todos los multiplexores-demultiplexores ópticos de alta velocidad se lograron transmisiones de 50Gbps utilizando la técnica de switcheo óptico de Kerr, esto da por consecuencia insistir en el desarrollo de nuevos materiales no-lineales para poder aumentar la velocidad.

La tecnología de amplificación óptica ha creado grandes progresos en los últimos años en particular en el amplificador EDF (Erbium-Doped-Fiber). El cual tiene excelente respuesta como un ancho de banda, bajo ruido, alta ganancia y compatibilidad con la fibra monomodo con conectores con bajas pérdidas, con lo cual aumentará drásticamente la sensibilidad en los receptores.

Se esperan soluciones que tengan una alternativa atractiva para tener una combinación con el amplificador EDF y la tecnología de generación de pulsos cortos y con esto será posible generar pulsos ópticos en el orden FEMTO-SECOND.

La combinación óptica de esta tecnología muy pronto va a poder crear sistemas de transmisión que pueda operar a la velocidad de 10Gbps. En el futuro todos los sistemas de transmisión óptico operan alrededor de una centena de Gbps y los repetidores podrán llegar a estar a miles de kilómetros.

TECNOLOGIA DE TRANSMISION COHERENTE DE LUZ.

Las transmisiones coherentes de luz en donde la información es llevada controlada en fase y frecuencia mediante una guía electromagnética, la cual promete un gran avance en los sistemas de transmisión, esto es porque se podrá improvisar en la sensibilidad del receptor, en el número de canales de multiplexaje, en la región de frecuencia óptica y en la velocidad de transmisión.

Hablando de los canales de multiplexaje se ha podido multiplexar-demultiplexar 100 canales de fibra óptica a través de 50 Km de fibra, en el cual el espacio entre canales es de 10GHz. Usando los sistemas de baja pérdida en las regiones de 1.5 a 1.6m más de 6000 canales ópticos se pueden multiplexar-demultiplexar en un ancho de banda de 5GHz.

Aunque para realizar este sistema denso de multiplexaje-demultiplexaje es esencial desarrollar una frecuencia de portadora precisa para poder tener un canal angosto en el cual podamos incluir estabilización de la frecuencia óptica, baja pérdida y estabilidad óptica en los circuitos de multiplexaje-demultiplexaje.

En las transmisiones de alta velocidad, expertos han demostrado con éxito las transmisiones a Gbps y para poder aumentar la velocidades de las transmisiones se deben estudiar los siguientes casos:

1. La ecualización en retardos causados por la dispersión.
2. La combinación de detección homogénea y heterogénea.
3. Los métodos de demodulación-modulación de los arreglos M.

La tecnología básica que se necesita para construir los sistemas de transmisión TERA-BITS, ésta ha sido ya confirmada tomando en cuenta la velocidad de transmisión del producto (10Gbps/CH) y el número de multiplexaje de canales ópticos (100); tomando en cuenta los progresos en el área, la velocidad de transmisión y el número de multiplexaje de canal ópticos podrán incrementarse a varias decenas de TERA-BITS/NUCLEO.

TECNOLOGIA DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES OPTICAS.

El potencial del procesamiento de la señal óptica desde el punto de vista paralelo con la conectividad y la velocidad del procesamiento, tomando en cuenta los límites de los circuitos eléctricos esta tecnología debe ser eficiente dentro de una región de Tbps. Aplicado a varios tipos de sistemas tales como conexiones en cruz sw, redes centrales y en progresos de imagen. Para poder aplicar la tecnología del procesamiento de señales ópticas se debe pagar un gran esfuerzo para poner tres categorías en términos técnicos:

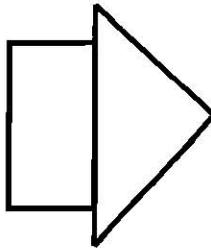
- Dominio del tiempo.
- Dominio en frecuencia .
- Dominio en el espacio.

La tabla I y II representan los últimos avances en tecnología de Tx de señales a través de F.O.

Tabla I.- Parámetros presentes y futuros de Tx de señales a través de F.O.

PRESENTE

USO DE TRANSMISIONES MEDIAS
<ul style="list-style-type: none"> • USO DE LA REGION DE LONG. DE ONDA • USO DE LA FIBRA MONOMODO • ALTA VELOCIDAD DE TRANSMISION



FUTURO

USO DE LA PORTADORA DE LUZ Y/O ONDA ELECTROMAGNETICA
<ul style="list-style-type: none"> • ULTRA ALTA VELOCIDAD/ MAYOR DISTANCIA DE TRANSMISION • USO COHERENTE DE LA ONDA DE LUZ • PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL OPTICA

BIBLIOGRAFIA

- **Sistemas de Comunicación de Fibra Optica** **Manual de Telcor**
- **Optical Cable and Conector** **Northen Telecom**
- **Fiber Optic Handbook** **Frederick C. Allayd Mc Graw Hill,Inc.**
- **Proyects in Fiber Optics Corporation** **Manual de Newport corporation**
- **Fiber Optic Market Place** **[http://www.yahoo.com/
Business_and_economy](http://www.yahoo.com/Business_and_economy)**
- **Optical Cable Corporation** **<http://www.occifiber.com>**
- **Fiber Optics** **Eduard A. Lacey Prentice Hall,Inc.**
- **Optical Communications** **M.J.N. Sibley Mc Graw Hill, Inc.**
- **Fiber Optics Communications** **Joseph C. Palais Prantince Hall Inc.**

