



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica



"SISTEMA DE ENLACE DIGITAL POR FIBRA OPTICA
ENTRE: TORRE EL CARMEN - CENTRAL CENTRO"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: ELECTRONICA

Presentada por:

NEYMAN NARANJO SEGURA

Guayaquil - Ecuador

1.988

A G R A D E C I M I E N T O

A los Ings. Freddy Villao, Director de Tesis, Rolf Johanneson, Vicente Saltos y Maria Montaleza, por su valiosa y desinteresada ayuda que me permitió culminar con éxito este trabajo.

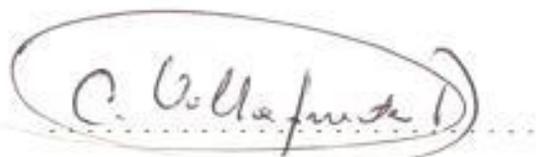
Y a todos aquellos, que de una u otra manera hicieron posible mi formación:

- A mis Profesores
- A mi Familia
- A mis Amigos
- Al personal del Comag - IETEL

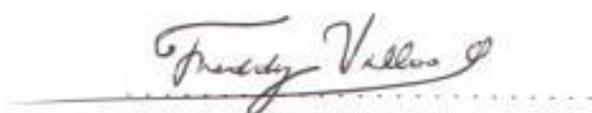
DEDICATORIA

Con todo cariño a mi querida Madre
que ha consumido su juventud para
labrarme el futuro.

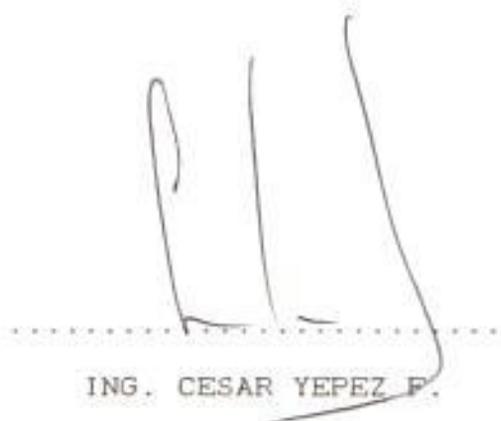
- A la memoria de mi Padre.



ING. CARLOS VILLAFUERTE P.
(Presidente del Tribunal)



DR. ING. FREDDY VILLO Q.
(Director de Tesis)



ING. CESAR YEPEZ P.
(Miembro del Tribunal)



ING. PEDRO CARLO P.
(Miembro del Tribunal)

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos profesionales de la ESPOL).



.....
Neyman N. Naranjo Segura

RESUMEN

Concientes del gran desarrollo que han tenido las telecomunicaciones en los últimos tiempos, pasando de la tradicional tecnología analógica a la versátil y económica tecnología digital, he creído conveniente presentar con este trabajo una breve guía teórico-práctica para el diseño de un sistema de enlace digital, utilizando como medio de transmisión, cable de fibra óptica.

Este trabajo realiza el diseño de un nuevo sistema de enlace digital por fibra óptica entre la central Centro y la estación Torre el Carmen.

En la primera parte de este trabajo se contemplan los conceptos básicos sobre transmisión digital por fibras ópticas y se analizan sus ventajas frente al sistema analógico. Se presenta una descripción de la configuración del actual sistema analógico (cable coaxial), y se enuncian los argumentos necesarios para justificar la implementación de un sistema de enlace digital que permita satisfacer las necesidades del tráfico telefónico actual y futuro.

En la segunda parte, se evalúan las características y pro-

piedades físicas de la fibra y la construcción del cable telefónico adecuado, para proceder al diseño de la red de canalización más apropiada, además se realiza un estudio de la capacidad de canales presentes y futuros (12 años), para de esta manera definir el equipo terminal que tanto la central Centro como la estación el Carmen deben llevar de acuerdo a la configuración del sistema, de las pérdidas derivadas del enlace y consecuentemente el uso de repetidores ópticos.

Finalmente, se efectúa un análisis del costo aproximado del proyecto, sugiriendo el tipo de programa requerido para su ejecución.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XVI
INDICE DE PLANOS	XVII
INTRODUCCION	18
CAPITULO I	
GENERALIDADES	
1.1 PRINCIPIOS BASICOS DE LA TRANSMISION	
DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS	20
1.1.1 Introducci3n	20
1.1.2 La transmisi3n digital	23
1.1.3 Modulaci3n por impulsos codificados	25
1.2 ELEMENTOS DE UN ENLACE EN LA TRANSMISION	
DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS	28
1.2.1 Diagrama de bloques de un sistema de fibras 3pticas	28
1.2.2 Caracteristicas de las fibras 3pticas	31
1.2.3 Fuentes 3pticas	35
1.2.4 Detectores 3pticos	37
1.3 DESCRIPCION ACTUAL DEL ENLACE:	

TORRE EL CARMEN - CENTRAL CENTRO	38
1.4 COMPARACION ENTRE UN SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS Y UNO CONVENCIONAL	41
1.5 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS PARA SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRAS OPTICAS	48
CAPITULO II	
LA FIBRA OPTICA	
2.1 LEYES Y DEFINICIONES OPTICAS BASICAS	51
2.2 MODOS Y MATERIALES DE LA FIBRA OPTICA	55
2.2.1 Apertura númerica	56
2.2.2 Modos de la fibra	57
2.2.3 Materiales de la fibra	64
2.3 ESTRUCTURA DE LA FIBRA OPTICA	64
CAPITULO III	
DEGRADACION DE LA SENAL EN LA FIBRA OPTICA	68
3.1 ATENUACION	68
3.1.1 Pérdidas en la fibra	68
3.1.1.1 Pérdidas por absorción	68
3.1.1.2 Pérdidas de esparcimiento de Rayleigh	70
3.1.1.3 Pérdidas por radiación	73
3.2 ANCHO DE BANDA	74
3.2.1 Dispersión intramodal	74
3.2.1.1 Dispersión material	75
3.2.1.2 Dispersión del guía-onda	75

3.2.2	Dispersión intermodal	76
3.3	ANALISIS DE LINEA	78
3.3.1	Ancho de banda del sistema	79
3.3.2	Pérdidas de enlace	80
CAPITULO IV		
EL CABLE DE FIBRA OPTICA		
4.1	CONSTRUCCION	82
4.1.1	Proceso MCVD (deposición modificada de la química del vapor)	83
4.1.2	Proceso VAD (deposición axial de la fase del vapor)	85
4.1.3	Manejo de la fibra y revestimiento	87
4.1.4	Defectos de superficie, corrosión	89
4.1.5	Curvaturas y microcurvaturas	90
4.1.6	Comportamiento del cable de fibra óptica en función de las condiciones ambientales ...	91
4.2	TIPOS DE CABLE DE FIBRA OPTICA	94
4.2.1	Cables para enlaces de corta distancia o capacidad	96
4.2.2	Cables para enlaces de media distancia	97
4.2.3	Cables para enlaces de larga distancia	98
4.2.4	Tendido d cables ópticos	100
4.3	APLICACION Y UTILIZACION DE CABLES DE FIBRA OPTICA	101
4.3.1	Enlace digital terrestre de larga distancia	102

4.3.2	Enlaces submarinos	104
4.3.3	Aplicaciones militares	105
4.3.4	Distribución de TV por cable óptico	106
4.4	COMPONENTES OPTOELECTRONICOS	108
4.4.1	Fuentes ópticas	108
4.4.1.1	Diodos LED	109
4.4.1.2	Diodos laser	110
4.4.2	Detectores ópticos	111
4.4.3	Conectores ópticos	114
4.4.3.1	Conectores fijos (acoplamiento)	114
4.4.3.2	Conectores enchufables	115
4.4.4	MULTIPLEXORES - DEMULTIPLEXORES OPTICOS	117

CAPITULO V

DISEÑO DEL ENLACE: TORRE EL CARMEN - CENTRAL CENTRO

5.1	ESTUDIO DEL ENLACE DE TRANSMISION CON PROYECCION HACIA EL AÑO 2000	119
5.1.1	Motivos para el nuevo enlace	120
5.1.2	Justificativos de trafico	122
5.1.3	Calculo de trafico y circuitos de larga distancia	125
5.2	DESCRIPCION DEL DISEÑO	127
5.2.1	Descripción de cada uno de los bloques del sistema	139
5.2.2	Utilización de repetidores ópticos	144
5.3	CONFIGURACION DEL SISTEMA	147
5.4	CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE EL DISEÑO	154

5.5 RUTA DE CANALIZACION	162
5.6 SISTEMA DE FUERZA	163
CAPITULO VI	
COSTO DEL PROYECTO Y PROGRAMACION PARA SU EJECUCION	
6.1 COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO	165
6.2 PROGRAMACION PARA SU EJECUCION	165
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171
APENDICES	
APENDICE A: CARACTERISTICAS DE COMPONENTES OPTICOS	174
BIBLIOGRAFIA	177

INDICE DE FIGURAS

Fig.	Pag.
1.1 Modulación por Impulsos Codificados	26
1.2 Diagrama de bloques de un Sistema de Transmisión Digital por Fibra Optica	29
1.3 Variación del ancho del pulso versus apertura numérica, debido a la dispersión modal	33
1.4 Variación del ancho del pulso versus longitud de onda, debido a la dispersión materia (fibra de silicio)	34
1.5 Diagrama de bloques del enlace por cable coaxial ..	39
1.6 Sistema de fibra óptica versus cable coaxial	42
1.7 Características de frecuencia para diferen- tes tipos de cables	48
2.1 Reflexión y refracción de un rayo de luz en la frontera de dos materiales	53
2.2 Representación del ángulo crítico y la reflexión total interna para una interfase aire - vidrio	54
2.3 Reflexiones en una guía dieléctrica	55
2.4 Estructura de una fibra simple	56
2.5 Apertura numérica	57
2.6 Relación entre θ y $Kn_1 \text{ Sen } \theta$. 2a	58
2.7 Comparación entre los diferentes modos de propagación en las fibras ópticas	60

2.8	Distribución $n(r)$ en las fibras ópticas	61
2.9	Propagación de luz en una fibra de índice gradual	63
2.10	Sección transversal de la fibra	65
2.11	Efecto de la capa de amortiguación en la reducción de microcurvaturas	67
3.1	Curva que representa la atenuación en la fibra óptica	69
3.2	Curvas que representan las pérdidas en las fibras ópticas	71
3.3	Espectro de las pérdidas de fibras con agua	72
3.4	Esparcimiento de Rayleigh	73
3.5	Dispersión en una fibra óptica	75
3.6	Dispersión en función de λ	76
3.7	Dispersión de la señal	77
3.8	Atenuación de Transmisión	80
3.9	Diagrama de nivel del Sistema de Transmisión óptico	81
4.1	Métodos de fabricación de la fibra óptica	84
4.2	Deshidratación y consolidación de la fibra óptica	86
4.3	Estirado de la fibra óptica	88
4.4	Defectos de superficie en la fibra	89
4.5	Corrosión en la fibra óptica	90
4.6	Microcurvaturas en la fibra óptica	91
4.7	Curvaturas en la fibra óptica	92
4.8	Descripción de algunos tipos de cable de	

fibra óptica	95
4.9 Fibras para enlace de corta distancia	97
4.10 Fibras para enlace de media distancia	98
4.11 Fibras para enlace de gran distancia	99
4.12 Enlace digital terrestre de 776 millas	102
4.13 Configuración del enlace Submarino	103
4.14 Estructura para el cable de aguas profundas	104
4.15 Configuración del control del enlace Submarino ...	106
4.16 Red de intercomunicación de misiles	107
4.17 Estructura de la red para telemetría en el complejo de misiles	108
4.18 Estructura de un dido laser y unión con la fibra óptica	112
4.19 Conector óptico de acoplamiento fijo	116
5.1 Diagrama de bloques del enlace Torre el Carmen - Central Centro	138
5.2 Diagrama de bloques del sistema usando fibra óptica	139
5.3 Diagrama de bloques de Multiplexores 2/34 y 34/140 Mb/s.	140
5.4 Esquema de bloques del almacén de terminación de línea	142
5.5 Definición de las pérdidas en el sistema	145
5.6 Diseño del sistema a 140 Mb/s.	148

INDICE DE TABLAS

No	Pag.
5.1 Plan de desarrollo de las telecomunicaciones 1988 - 1992	126
5.2 Cálculo de tráfico y circuitos de larga distancia nacional a Diciembre de 1988	128
5.3 Cálculo de tráfico y circuitos de larga distan- cia para la situación prevista al año 2000	133
A.1 Principales especificaciones técnicas de laser	175
A.2 Principales especificaciones técnicas de Leds	176
A.3 Características de conectores ópticos 1a / 2a Banda	176

INTRODUCCION

El desarrollo de los medios de comunicación es un factor fundamental en el progreso de la civilización. Como tantas otras conquistas del hombre, las comunicaciones son causa y efecto del progreso social.

Concientes de esta realidad y teniendo en cuenta que actualmente el sistema de comunicaciones dentro de nuestro país no goza de todas las ventajas y adelantos que, la nueva tecnología ofrece, el Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL), se encuentra empeñado en dotar al país de una red de telecomunicaciones completamente digital que permita solucionar los problemas presentes y futuros.

Por lo expuesto anteriormente y en vista de que en la actualidad todo sistema de comunicaciones está inclinándose hacia la tecnología digital, la cual utiliza diversos medios de transmisión, de los cuales uno es la fibra óptica, es decir enlaces ópticos.

Por lo tanto, el presente trabajo se centra justamente en este último método, y su aplicación a la resolución de un problema práctico. Es así que se plantea la posibilidad de

un nuevo enlace digital utilizando como medio de transmisión cable de fibra óptica, entre la central Centro y la estación Torre el Carmen, para la red de larga distancia nacional, y así obtener una mayor capacidad de enlace, mejorar notablemente la calidad de la transmisión y evitar problemas de inducción en el cable coaxial, que es el medio de transmisión en el sistema analógico actual.

Queda constancia de que este trabajo no pretende ser exhaustivo en la materia sino que, de acuerdo al propósito y nombre del presente estudio es una buena alternativa para reemplazar el sistema analógico vigente actualmente.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 PRINCIPIOS BASICOS DE LA TRANSMISION DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS

1.1.1 Introducción

Las ondas de luz, al igual que las de radio, son una forma de energía electromagnética, y la idea de transmitir información por medio de la luz, como portadora, tiene más de un siglo de antigüedad; hacia 1880, antes de la invención del teléfono, Alexander G. Bell construyó el llamado fotófono, que enviaba mensajes vocales, a corta distancia, por medio de la luz. Sin embargo, esa aplicación de las ondas luminosas no fué posible por la falta de fuentes de luz adecuadas y de un medio de propagación con pocas pérdidas.

Con la invención y construcción del láser en 1960, volvió a tomar cuerpo la idea de utilizar la luz

como soporte de comunicaciones confiables y de alta potencialidad de información. De hecho, la disponibilidad de una fuente de luz coherente y monocromática estimuló la exploración de las comunicaciones ópticas como soporte de grandes flujos de información, debido a la alta frecuencia de la portadora 10^{14} Hz. Desde entonces comenzaron los estudios básicos sobre los procesos de modulación y detección de la luz.

El empleo de las fibras de vidrio como medio guía no tardó en resultar atractivo: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y costo.

Las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos. En 1910 se realizó, por Hondros y Debie el primer análisis teórico, completo, sobre la propagación electromagnética en un medio dieléctrico cilíndrico, el problema radicaba en que las fibras de vidrio disponibles cuando se inventó el láser presentaban pérdidas de varios miles de decibelios por kilómetro.

Las nuevas perspectivas que ofrecían las fibras estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos de pequeño tamaño, buena fiabili

dad y pequeño consumo. Los emisores de semiconductores y los detectores de estado sólido parecían los más adecuados, en 1970 se realizó el primer láser de AlGaAs capaz de operar en forma continua a temperatura ambiente (20-25°C); sin embargo, la vida de aquellos dispositivos sólo era de unas pocas horas, desde entonces la tecnología ha progresado, por lo que hoy es posible encontrar comercializados diodos láser con más de 100.000 horas de vida media.

En lo que respecta a los emisores de luz incoherente (LED), en 1971 se dió un gran paso, cuando C. A. Burrus desarrolló un LED de pequeña superficie radiante (unos 50 μm de diámetro) particularmente idóneo para el acoplamiento con las fibras ópticas.

Volviendo de nuevo a las fibras, en 1976 tuvo lugar un destacado evento, investigadores Japoneses, de la NTT y de Fujikura, obtuvieron fibras con 0.47 ± 0.1 dB/Km en 1.3 y 1.5 μm , muy cerca ya del límite debido a los factores intrínsecos de atenuación (impuestos por un fenómeno de esparcimiento de Rayleigh, que introduce una atenuación inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda). En 1974 se alcanzaron 0.2 dB/Km

sobre fibras monomodo en $1.55 \mu\text{m}$. Junto a los avances en la fabricación de fibras, en 1975 se predijo que las fibras de SiO_2 presentaban una zona de mínima dispersión, alrededor de $1.3 \mu\text{m}$, esto venía a indicar que resultaba posible disponer de grandes anchuras de banda, alrededor de $1.3 \mu\text{m}$, por cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor limitativo intrínseco, estos dos aspectos bajas pérdidas y baja dispersión habrían nuevas posibilidades para transmisiones de alta velocidad y larga distancia.

En lo que respecta a las fuentes ópticas en estas longitudes de onda se obtuvieron los resultados más alentadores con dispositivos a base de InGaAsP/InP , en 1976 se construye el primer diodo láser de InGaAsP/InP , si bien con una vida media limitada (≈ 2.000 horas); un año más tarde (1977) también pudo fabricarse un LED de ese mismo material. Hoy tanto el LED como el láser, fabricados con este material, están comercialmente disponibles. En lo que se refiere a los fotodetectores, los diodos PIN y los fotodiodos de avalancha a base de silicio fueron desarrollándose sin dificultad, ya que estos ofrecían buenas características.

1.1.2 La transmisión digital

En el campo técnico, el término "digital" está asociado principalmente con las computadoras digitales, las señales usadas aquí, es decir señales digitales, son discontinuas en el tiempo y están restringidas a un conjunto de valores discretos permitidos. Muy a menudo este conjunto de valores está limitado a dos: "uno" y "cero", a diferencia de una señal analógica, para la cual es permitido cualquier valor dentro de ciertos límites. Una señal analógica típica, es la señal proveniente del micrófono de un aparato telefónico normal, esta señal es el análogo de la presión de sonido formado en los órganos vocales del hablante.

La tecnología digital se ha usado durante mucho tiempo en el campo de las telecomunicaciones, los mensajes enviados por el telégrafo son todos digitales, codificados en diferentes códigos, por ejemplo el código morse. Muchos otros códigos digitales usados actualmente, por ejemplo en el área de las computadoras, fueron sugeridos por los primeros trabajadores de la telegrafía.

Lo que es nuevo, es el uso de señales digitales para la transmisión de conversación en la red telefónica. Este es un desarrollo que se inició a comienzos de la década de 1960 con la introducción

de los sistemas de transmisión con modulación por impulsos codificados (PCM=MIC) en la red troncal urbana.

A fines de la década de 1930, un grupo de investigación en París estaban tratando de hallar métodos de modulación adecuados para los radio enlaces de micro-ondas. Uno de los resultados obtenidos por este grupo fue la invención de la modulación por impulsos codificados (PCM) por Alex Reeves en 1937; la patente francesa se registró en 1938, tecnológicamente, era entonces demasiado temprano para usar PCM en la práctica. Sin embargo la invención del transistor cambió la situación, por lo que se ha puesto en servicio una gran cantidad de sistemas con PCM en la red telefónica desde comienzos de la década de 1960.

1.1.3 Modulación por impulsos codificados

La PCM puede describirse como un método para transferir la información analógica a la forma digital; la conversión de la señal analógica en una digital se basa en tres principios fundamentales: El muestreo, la cuantificación y la codificación (Fig. 1.1).

De acuerdo con la teoría de la información, la transmisión de la información de una señal no necesita la transmisión de la señal entera, es suficiente transmitir muestras tomadas a, por lo menos, el doble de la frecuencia más alta de la señal. Este se denomina el teorema del muestreo.

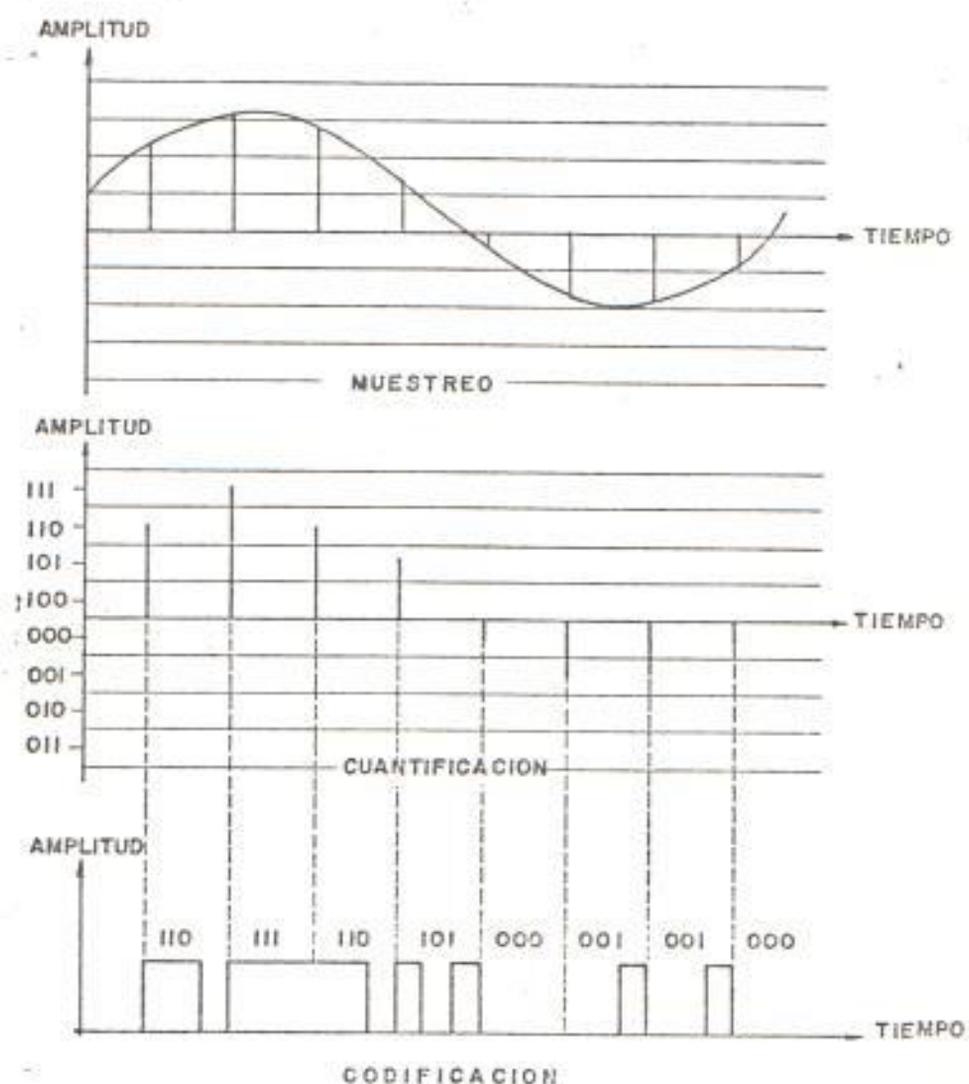


Fig. 1.1 Modulación por impulsos codificados

Las muestras tomadas de una señal de frecuencia

vocal (VF) tienen una gama continua de amplitudes, el siguiente paso es dividir esta gama de amplitudes en una cantidad limitada de intervalos, a todas las muestras cuyas amplitudes caen dentro de un cierto intervalo se les asigna el mismo valor, este principio se conoce como cuantificación. El proceso de cuantificación, distorciona la señal, lo que introduce un fenómeno denominado distorsión de cuantificación.

Finalmente, las muestras cuantificadas, se codifican en un código adecuado. En la Fig. 1.1 se usa un código binario normal, la señal puede ahora transmitirse como un tren de impulsos binarios.

Usando el principio PCM, se arman los sistemas de transmisión con PCM, consistentes en un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. Los medios de transmisión interesantes para las señales digitales son las guías de onda y las fibras ópticas, los sistemas de guías de onda tienen una capacidad de ancho de banda correspondientes a unos 100.000 canales telefónicos, Han sido estudiados desde la década de 1950 pero hasta el momento se han encontrado con grandes problemas prácticos. Los problemas iniciales concernían a los componentes, por ejemplo los repetidores, pero

estos han sido ampliamente reducidos por los componentes modernos de micro-ondas de estado sólido.

Por esta razón, siendo la PCM una técnica de modulación digital, los sistemas de transmisión ópticos, son los que mejor se adaptan a esta técnica, debido a su gran ancho de banda, manipulación, inmunidad a la diafonía y tamaño, lo que los hacen cada vez mas atractivos.

Estos sistemas de transmisión óptico, consisten de un transmisor, un enlace de transmisión con repetidores y un receptor. Para el enlace de transmisión, las fibras ópticas son el medio ideal de transmisión, debido a que presentan pocas pérdidas.

Las fibras ópticas son un tipo especial de guías de onda, desarrolladas para la transmisión de la luz, con una gran capacidad de transmisión, que está limitada en la práctica por los moduladores y los detectores del transmisor, el repetidor y el receptor de los sistemas de transmisión ópticos.

1.2 ELEMENTOS DE UN ENLACE EN LA TRANSMISION DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS

1.2.1 Diagrama de bloques de un sistema de fibras ópti-

cas

Un diagrama de bloques de un sistema de comunicación digital por fibras ópticas se da en la Fig. 1.2, donde solo una sección de regeneración se indica. Cualquier sistema de transmisión comprende tres bloques principales: un transmisor, el medio de transmisión ó canal y un receptor.

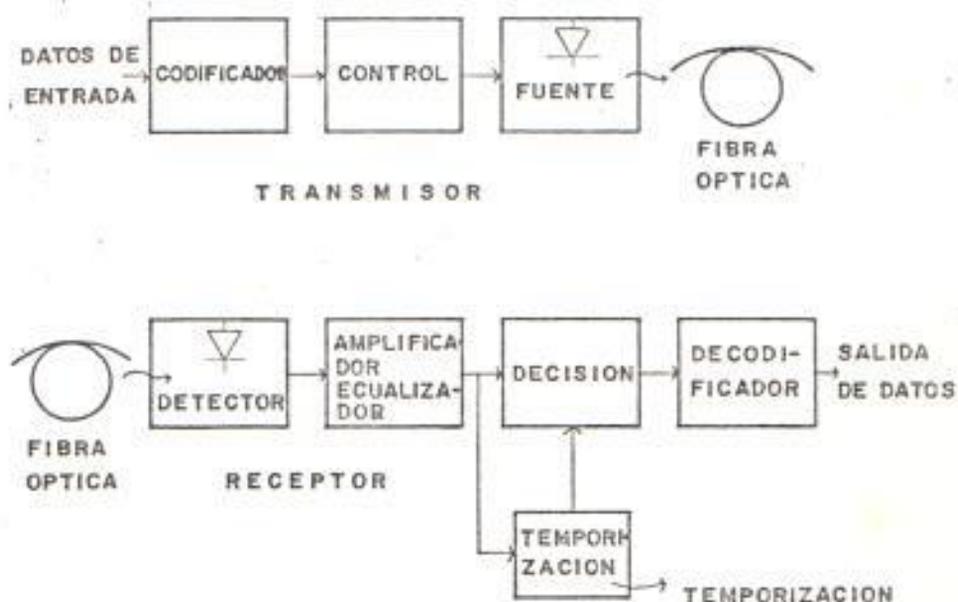


Fig. 1.2 Diagrama de bloques de un sistema de transmisión digital por fibra óptica.

El transmisor contiene un codificador de línea, el cual convierte la secuencia de entrada, de símbolos binarios estadísticamente independientes, con una velocidad f_0 , en una secuencia de símbolos,

con una velocidad f_r , apropiado para el medio de transmisión y propósitos de monitoreo. Esta señal modula a través de circuitos amplificadores de corriente (drivers), la intensidad de la potencia de salida de la fuente óptica (típicamente un dispositivo de alta corriente, bajo voltage), el cual puede ser un diodo emisor de luz (LED) ó un diodo láser.

Parte de la potencia emitida es inyectada en la fibra, la cual se propaga a través de la misma, de acuerdo a los principios de reflexión total interna, durante la propagación los pulsos de la señal óptica sufren atenuación y distorsión.

En el lado de recepción los pulsos ópticos son convertidos a través del fotodetector (diodo de avalancha ó diodo PIN), en pulsos de corriente eléctrica, los cuales son amplificados y ecualizados con el fin de maximizar la relación señal-ruido en el punto en el cual el receptor toma la señal como "uno" o como "cero", lo que se denominará punto de decisión. La señal ecualizada es entonces regenerada y decodificada para entregar la secuencia original.

Para un mejor entendimiento del sistema óptico es necesario, a continuación, revisar rápidamente las

principales características y propiedades de los elementos que lo conforman.

1.2.2 Características de las fibras ópticas

El cable de fibra óptica es uno de los más importantes elementos en un enlace de fibra óptica, las fibras ópticas multimodo son generalmente consideradas para aplicaciones de telecomunicaciones, la transmisión a través de estas fibras introduce una atenuación en la señal proporcional a la longitud, y, debido a la imperfección del canal y características de la fuente, una distorsión conocida como "dispersión de pulso" se crea y origina el ensanchamiento del pulso transmitido a lo largo de la fibra.

La atenuación se produce por la absorción del material, es decir la conversión de la potencia en calor, y por esparcimiento, esto es pérdida de la luz de la fibra causadas por las impurezas del material.

Considerando la atenuación dependiente de la longitud de onda es fácil reconocer dos mínimos en las bandas entre 0.8 y 0.9 μm y sobre 1.05 μm , normalmente conocida como primera y segunda venta-

na. Valores de atenuación entre 3 y 5 dB/Km y alrededor de 1 dB/Km son reportados normalmente para las dos ventanas respectivamente.

La dispersión del pulso es una distorsión correspondiente a la limitación de la banda de la fibra, y se origina por dos factores principalmente: dispersión modal y dispersión material.

La dispersión modal se crea debido a la diferencia de velocidad de grupo de los diferentes modos que se propagan a lo largo de la fibra para una simple longitud de onda. Este efecto, el cual es eliminado en fibras monomodo, puede ser reducido en fibras multimodo graduando el perfil del índice de refracción del núcleo.

El ensanchamiento del pulso τ_m debido a la dispersión modal se incrementa con la apertura numérica Δ de la fibra, así este parámetro está relacionado con el número de modos que pueden ser excitados. El ensanchamiento del pulso τ_m versus la apertura numérica Δ para diferentes perfiles de fibra índice se muestra a continuación (Fig. 1.3)

En la práctica para fibras con pocas pérdidas, el valor normal de Δ tiene un rango entre 0.15 y 0.2, y valores de τ_m tan pequeños como una fracción de

1 ns/Km se reportan normalmente.

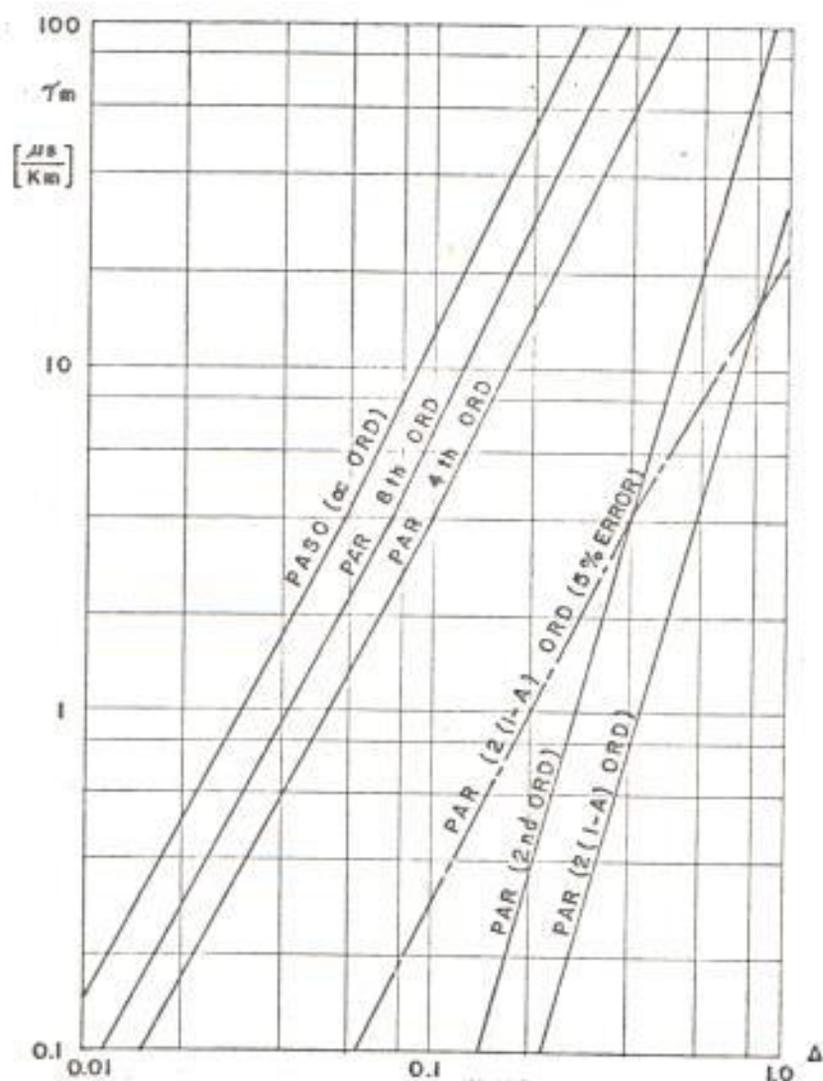


Fig. 1.3 Variación del ancho del pulso versus apertura numérica, debido a la dispersión modal

La dispersión material está asociada con el ancho de banda de la fuente óptica (típicamente mucho más grande que el ancho de banda de la modulación) y es producido por la variación del índice de re-

fracción con la longitud de onda óptica, la cual produce una diferencia en la velocidad de grupo de un modo simple, para diferentes longitudes de onda. El correspondiente ensanchamiento del pulso es proporcional al ancho de banda de la fuente y a la longitud de la fibra L , y decrece con la longitud de onda de la fuente como se indica a continuación (Fig. 1.4).

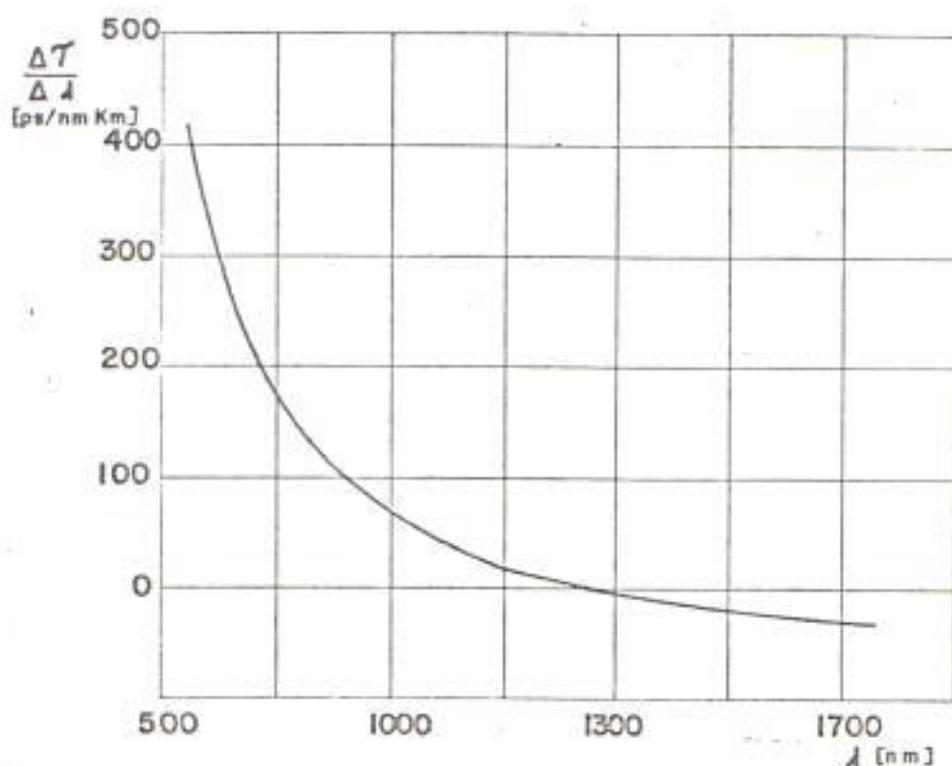


Fig. 1.4 Variación del ancho del pulso versus longitud de onda, debido a la dispersión material (fibra de silicio)

Generalmente los valores de dispersión material son aproximadamente de 100 ps/Km.nm($\Delta \lambda$) y menor

que $10 \text{ ps/Km.nm}(\Delta\lambda)$ en la primera y segunda ventana respectivamente. El efecto de la dispersión material es importante principalmente en la primera ventana cuando se usan fuentes LED ($\Delta\lambda = 20-50 \text{ nm}$).

1.2.3 Fuentes ópticas

Las dos principales fuentes ópticas utilizadas en telecomunicaciones son los LED de alta radiancia y los semiconductores láser LD. Los dos son fáciles de usar ya que ellos pueden ser modulados directamente, la potencia óptica de salida varía casi linealmente con la corriente de entrada, que maneja a estos dispositivos.

Los LED son fuentes ópticas que presentan gran seguridad para aplicaciones en sistemas de transmisión (tiempo de vida media mayor que 100.000 horas). Estas son fuentes que emiten luz isotrópico semicoherente, las cuales según el semiconductor utilizado, pueden operar en la primera ó segunda ventana, con un ancho espectral comprendido entre 20 a 50 nm y de 40 a 100 nm en los dos casos respectivamente. Los valores de radiancia pueden variar de 20 a 100 W/sr.cm^2 y de 10 a 50 W/sr.cm^2 por LED operando en la primera y segunda ventana respectivamente.

Las fuentes láser tienen muchas ventajas sobre los LED, ya que estos poseen una radiancia mayor y el rayo de luz que emiten es coherente. La potencia óptica total emitida está en el rango de 1 a 10 mW por dispositivos radiantes en la primera ventana ($\lambda \approx 0.85 \mu\text{m}$); los láseres también son apropiados para la segunda ventana con un máximo de potencia de salida de cerca de 4mW. Como el ancho espectral de la luz emitida es alrededor de 1-2 nm, el uso de estas fuentes permiten reducir los efectos de la dispersión material. La radiación no tiene un patrón isotrópico y consecuentemente la potencia óptica inyectable en la fibra puede ser, para fibras de pequeño diámetro con una apertura numérica pequeña, hasta dos ordenes de magnitud mayores que con LED.

Para una correcta operación del láser la corriente manejadora debe ser mayor que la de sostenimiento, en un rango entre 50 y 200 mA.

El comportamiento del láser es muy sensitivo a la temperatura y tiene que ser estabilizado usando una apropiada realimentación.

Actualmente, la principal desventaja de las fuentes láser es su limitado tiempo de vida, cerca de 10.000 horas como máximo, mientras que para apli-

caciones de telecomunicaciones el mínimo requerido es de 100.000 hrs. Sin embargo tomando en cuenta el rápido avance en la tecnología en esta área, se espera que este inconveniente sea superado en los próximos años.

1.2.4 Detectores ópticos

Los detectores ópticos más apropiados para transmisión en fibras ópticas son los de estado sólido de Si, fotodiodos PIN, y Si ó Ge para los fotodiodos de avalancha APD.

El parámetro básico de los fotodetectores es la respuesta, por ejemplo, la corriente de salida por unidad de potencia incidente. Para diodos de Si esta puede variar de 0.4 a 0.6 A/W en la primera ventana, y es inferior a 0.2 A/W en la segunda ventana. Los fotodiodos de Ge pueden tener una respuesta cerca de 0.6 A/W en la segunda ventana, pero estos no son apropiado debido a su alto ruido.

Los fotodiodos PIN requieren solamente de un moderado voltage de polarización (unas pocas decimas de voltios), en contraste con los fotodiodos de avalancha. Su ancho de banda está limitado básica-

mente por el efecto del tiempo de tránsito, esto puede ser reducido con el espesor de la unión, pero de esta manera la respuesta también es reducida. Sin embargo un compromiso es necesario. Diodos Optimizados con respuesta cerca de 0.6 A/W y un tiempo de 0.1 ns ya han sido registrados.

Los fotodiodos de avalancha son, desde luego, más sensitivos que los diodos PIN, pero requieren de voltajes de polarización altos (100-300 V) y posiblemente una estabilización del punto de operación.

1.3 DESCRIPCION ACTUAL DEL ENLACE: TORRE EL CARMEN - CENTRAL CENTRO

El enlace para larga distancia, en el tramo comprendido entre la Torre el Carmen y central Centro, consta de ocho cables coaxiales, cuatro para transmisión y cuatro para recepción, para igual número de canales de radio frecuencia (RF). Con lo cual se cubre las rutas existentes actualmente (norte, sur, centro y oeste).

La longitud del tramo es de 2.5 Km, debido a que la distancia del enlace es pequeña, no son necesarios repetidores intermedios, ningún equipo multiplex existe en la Torre el Carmen.

Equipos de línea (amplificadores - ecualizadores).- Este equipo sirve para mantener las señales que se transmiten dentro de niveles aceptables de amplitud y frecuencia; y, además para igualar y compensar las pérdidas de señal en los cables coaxiales regulares (standar) de 1.2/1.4 mm de diámetro (max. 4 Km), especificado en las recomendaciones del CCITT, instalado además para conectar a la estación portadora y a la de radio. De esta manera permite a cada sistema transmitir hasta 960 canales telefónicos, que es la capacidad actual por cada sistema, con la cual se cubren las diferentes rutas existentes para comunicación de larga distancia.

Un diagrama de bloques de la configuración del sistema se indica a continuación (Fig.1.5).



Fig. 1.5 Diagrama de bloques del enlace por cable coaxial

Actualmente existen dos sistemas para larga distancia, que interconectan Torre el Carmen y central Centro, los

que se describen a continuación:

- a) Sistema Fujitsu.- Utiliza seis cables coaxiales de interconexión, tres para transmisión y tres para recepción, para cubrir las rutas oeste, centro y sur, según el detalle siguiente:

Ruta Oeste.- Sirve a la zona de Manabí, teniendo a ésta como provincia terminal de la ruta, interconectando en su trayecto ciudades y poblaciones de esa área.

Ruta Centro.- Sirve para interconectar Guayaquil con el resto del mundo, a través de la estación terrena actualmente en operación, localizada cerca a la ciudad de Quito. Interconecta las ciudades y poblaciones del callejón interandino, teniendo como terminal de la ruta a la provincia del Pichincha.

Ruta Sur.- Sirve para conectar ciudades y poblaciones de la zona sur oriental del Litoral y Sierra, como Machala y Loja, teniendo a Loja como terminal de ruta.

- b) Sistema Ericsson.- Está compuesto por las siguientes rutas:

Ruta de enlace a la zona austral del país.- Sirve para interconectar la zona austral del país, teniendo

a Cuenca como ciudad terminal.

Ruta de enlace a la Península de Santa Elena.- Sirve para interconectar la península y zonas aledañas, teniendo a Salinas como ciudad terminal.

Ruta de enlace zona Centro.- Sirve para interconectar, la zona de la provincia de los Ríos, con ciudades como Babahoyo, Milagro, Quevedo, teniendo a éstas localidades como ciudades terminales.

1.4 COMPARACION ENTRE UN SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL POR FIBRAS OPTICAS Y UNO CONVENCIONAL

Diferentes medios son utilizados para transmitir información: Ej. alambres, cables coaxiales, guías de onda y radio. Los cables de fibra óptica compiten contra todos estos, pero más fuertemente contra los cables coaxiales. Ejemplos de sistemas coaxiales son las líneas troncales de teléfonos, cables de televisión, transmisión de señales dentro de fábricas, información digital y cableado en buques y aereoplanos.

El diagrama de bloques en la Fig 1.6 revela las diferencias típicas entre un sistema óptico y un sistema eléctrico. Por ejemplo, los sistemas de fibra necesitan transductores electro-ópticos; a pesar de la tendencia a

declinar los costos de estos componentes, estos son aún costosos: Un transductor de rango corto/bajo ancho de banda se vende por menos de \$100, mientras que un transductor de rango largo/gran ancho de banda pueden costar varios miles de dolares. La utilidad de esta invención es una drástica reducción del número de repetidores, ó ningún repetidor en absoluto. Esto reduce los costos y mejora la confiabilidad.

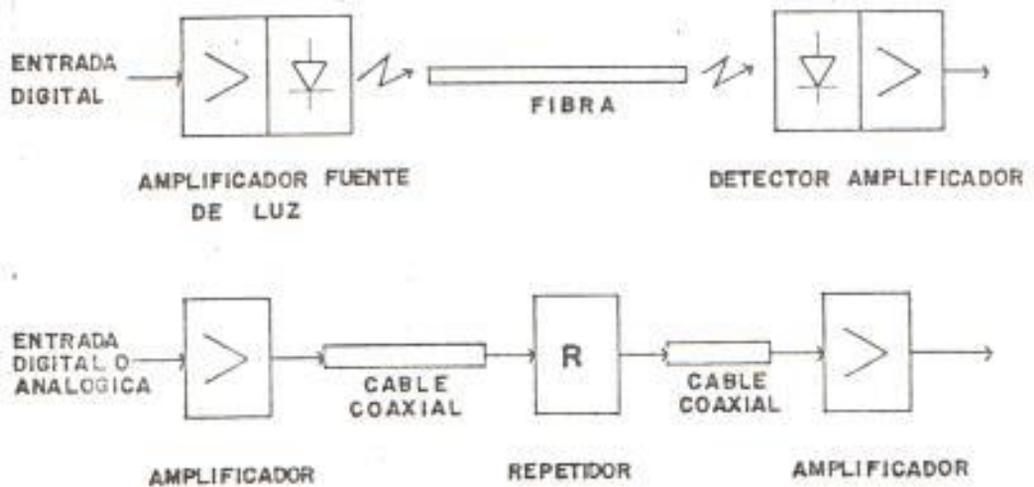


Fig. 1.6 Sistema de fibra óptica versus cable coaxial

Para establecer una comparación entre cables de fibra con cables coaxiales, usaremos los cables de comunicación coaxial RG14 y RG19 como referencia. De acuerdo con su funcionamiento relativamente alto, estos cables son bastante voluminosos con sus 14 y 29 mm de diámetro externo comparados a cables de fibras simples que tienen diámetros de 3 a 5 mm.

El peso es una de las desventajas del cable coaxial, los cables RG14 y RG19 pesan 350 y 1100 Kg/Km respectivamente. Comparando estos a los pesos típicos de 12 Kg/Km para un cable de fibra simple. Esta diferencia puede ser mucho más grande en cables multicanales.

La inmunidad al ruido es pobre en cables coaxiales. Ellos son sensibles a los campos eléctricos y magnéticos que son generados por maquinarias, relámpagos o un pulso electromagnético (EMP) de una explosión nuclear. Lazos a tierra y oscilaciones son también algunos problemas en cables coaxiales. Las fibras no muestran ninguno de estos efectos. Otro punto importante es que la fibra está libre de interferencia o cruce de llamadas, aún si la luz es radiada por una fibra (escape de luz), esta no puede ser recapturada por otra fibra.

Otra ventaja de la fibra es la seguridad. Es complicado intervenir una fibra: Ya que primeramente, se tiene que aislar la fibra pelada del cable sin romperlo. Esto probablemente sea la solución a la intervención maliciosa en la comunicaciones. Si se dá el caso de una intervención óptica, por mínima que sea la potencia óptica interceptada, esta puede ser fácilmente detectada, ó monitoreando la potencia en el sistema receptor, ó con un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo, lo que no se dá en el caso de los cables coaxiales, que son fácil

de intervenir pero difícil de detectar.

En la figura 1.7 se compara las características de atenuación y ancho de banda de los cables coaxiales con aquellos de fibras ópticas típicos, todo ello para 1 Km de longitud. El efecto piel en un cable coaxial produce la atenuación, que se incrementa con la raíz cuadrada de la frecuencia, normalmente empieza después de 1 Mhz. Graves efectos se producen en el patrón de onda, los cuales tienen que ser corregidos con filtros. Así, de esta manera se consigue ó logra espaciamiento entre repetidores alrededor de 2 Km para un enlace coaxial a 100 Mbit/s. Al contrario las fibras de índice gradual tienen poca atenuación, extendiéndose típicamente hasta 1 Ghz, de esta manera la separación entre repetidores puede llegar a 20 Km ó más; del mismo modo las fibras monomodo han sido fabricadas con un elevado ancho de banda, asegurando una separación entre repetidores de más de 100 Km a una razón de datos de 1 Gbit/s.

Hay una mayor diferencia entre transmisión óptica y eléctrica, la que se indica a continuación: Debido al ruido inherente de la fuente, las fibras ópticas transmiten mucho mejor la información digital, que la información analógica. El gran ancho de banda requerido no representa un problema para la fibra; un problema para una introducción más amplia de los servicios de la fi-

bra, es el procesamiento de las señales digitales. La información analógica tal como voz, video y radio tiene que ser codificada y decodificada lo cual todavía no es comercialmente disponible sobre una base de gran volumen. La revolución digital, también observada en la electrónica convencional, es importante para implementar los sistemas de fibra óptica, ya que la gran calidad inherente de los sistemas digitales tiene que ser mantenida posteriormente. Desde este punto de vista, las fibras ópticas pueden ser introducidas más fácilmente en redes de computadoras, y en líneas troncales de teléfonos donde la información es digital desde la fuente. Se debe indicar también, que algunos sistemas analógicos trabajan aceptablemente con fibra: Un ejemplo es la transmisión de video usando modulación de frecuencia, estos sistemas han sido aceptados como un paso intermedio hacia la digitalización total.

Bajo peso, dimensiones mínimas, y alta flexibilidad hacen de la instalación de cables de fibra comparativamente fáacil, para colocarlos a través de ductos existentes o ponerlos en tierra, además un reducido número ó ningun repetidor se requieren. Sin embargo el empalme de fibras durante la instalación y reparación requieren de grandes y sofisticados equipos y personal altamente calificado.

La confianza de la calidad es algunas veces otro punto

de interés. Sin embargo, un funcional equipo de pruebas para medición, de dos puertos (entradas), es disponible para cable coaxial y fibras, siendo el equipo de pruebas para fibras más costoso y más difícil de operar. La reflectometría en el dominio del tiempo permite la determinación de uno u otro tipo de cable en una puerta; así mismo, los reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo son más costosos que su contraparte eléctrico. Estos están ahora disponibles para medir fibras, a 20 Km sin repetidores, lo cual es suficiente para enlaces comerciales.

Resumiendo, podemos puntualizar las ventajas y desventajas de las fibras ópticas con respecto al cable convencional de la siguiente manera:

- a) Su inmunidad a la interferencia electromagnética, ya que está fabricada solamente de dieléctrico, no habiendo lazo con tierra. Es decir, la fibra es no conductiva y no inductiva.
- b) Su menor atenuación de señal, en comparación con el cable.
- c) Su mayor ancho de banda, pudiendo dar cabida a un mayor número de canales de comunicación.

- d) Su peso y tamaño, son relativamente menor que con el cable coaxial, dando como resultado una mayor densidad de información por peso y espacio de cable.
- e) Su mayor seguridad y exclusividad en las comunicaciones, siendo las fibras ópticas aptas para su uso en donde se exija un alto grado de seguridad del contenido de la información.
- f) Su inmunidad a la presencia de agua y humedad.
- g) Su versatilidad para ser utilizada en los sistemas existentes (tendidos ó canalizados) de cables de cobre.
- h) Su cualidad de no producir chispas eléctricas, haciéndolas ideales para ambientes explosivos.
- i) Su relativa simplicidad en el acoplamiento y conexión; y,
- j) Sus costos que día a día son más competitivos con los conductores de cobre.

Como se ve, las fibras ópticas poseen muchos atributos; sin embargo, es necesario señalar cuáles son sus desventajas, en comparación con los cables coaxiales. Menciono

las dos más importantes:

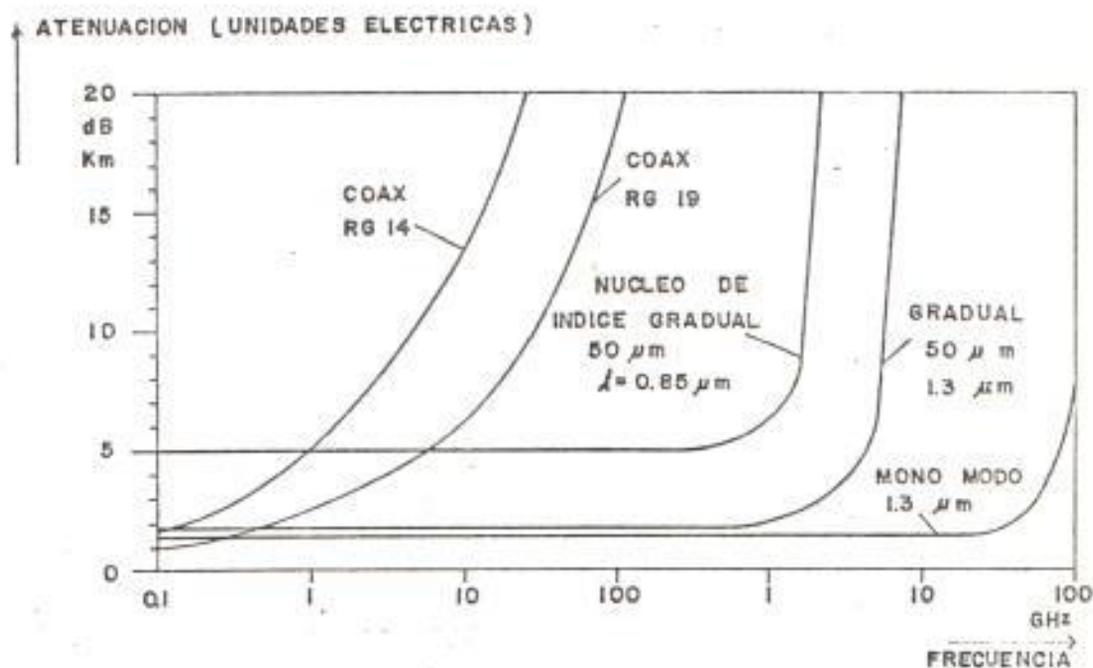


Fig. 1.7 Características de frecuencia para diferentes tipos de cables

- a) Las fibras ópticas no pueden llevar un voltaje d.c., y siendo este muy utilizado en la mayoría de sistemas electrónicos, resulta en una desventaja. Para resolver este problema habría que emplear un conductor metálico por separado ó en su defecto una técnica de pulsos de control por la fibra.
- b) En caso de ruptura o fisura de la fibra, su reparación resulta ser delicada y por ende costosa.

1.5 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS PARA SISTEMAS DE TRANSMISION POR FIBRAS OPTICAS

Los sistemas de transmisión por fibras ópticas deben conocer las necesidades de los usuarios relacionadas con el correcto uso de los sistemas de transmisión. Estos requerimientos son los siguientes:

- a) Dimensionamiento del sistema hasta adaptar los costos de la capacidad de transmisión requerida al término medio, e incrementar el tráfico en el tiempo.
- b) La adopción de criterios de monitoreo capaces de reducir, lo más que sea posible, el tiempo que el sistema esté fuera de funcionamiento, en suma la presencia de un sistema alternativo con conmutación automática.
- c) Manejo por sistemas computarizados con el propósito de minimizar la intervención humana y, por lo tanto reducir los costos de mantenimiento de la planta. La posibilidad por lo tanto, de interfaces con computadores centralizados para la coordinación de la red, deben ser instalados.
- d) La posibilidad de operación, dada la característica particular de la fibra, en zonas con alta interferencia electromagnética.

Con el conocimiento de las características particulares

de las fibras ópticas indicadas anteriormente, y de los componentes disponibles en el mercado, parece posible ahora formar sistemas de fibra óptica con características competitivas y complementarias que aquellos ofrecidos por los sistemas tradicionales.

CAPITULO II

LA FIBRA OPTICA

2.1 LEYES Y DEFINICIONES OPTICAS BASICAS

Un parámetro óptico fundamental del material es el índice de refracción.

En el espacio libre una onda de luz viaja a una velocidad $C = 3 \times 10^8$ m/s; la velocidad de la luz está relacionada con la frecuencia f y la longitud de onda de la señal por: $C = \lambda \cdot f$.

En un medio dieléctrico la onda viaja a una velocidad V , la cual es característica del material y por supuesto menor que C ; la relación de la velocidad de la luz en el vacío con la velocidad de la luz en el material, se conoce con el nombre de índice de refracción del material (n), y está dado por la siguiente ecuación:

$$n = C/V \quad (2.1)$$

Valores típicos del índice de refracción (n) son: 1.0 para el aire, 1.33 para el agua y 1.50 para el vidrio.

Cuando un rayo de luz incide sobre la superficie definida entre dos medios transparentes, parte del rayo es reflejado al primer medio y el resto es refractado a lo que entra al segundo material (ver fig. 2.1).

De la figura se observa que el índice de refracción n_2 es menor que n_1 , la relación en la interface es conocida como la ley de Snell (ley de la refracción), cuya relación es la siguiente:

$$\frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.2)$$

De acuerdo a la ley de reflexión, el ángulo θ_1 con el cual el rayo incidente penetra la interface es exactamente igual al ángulo de reflexión que hace el rayo reflejado con la misma interface. Cuando el ángulo de incidencia θ_1 en un material ópticamente denso (alto índice de refracción) se hace más pequeño, el ángulo refractado θ_2 se aproxima a cero, en estas circunstancias, ninguna refracción es posible y el rayo de luz es totalmente reflejado. La Fig. 2.2 muestra esta situación en una superficie de vidrio en el aire.

Para un mejor entendimiento de la manera como se propaga

la señal de luz en la fibra óptica; consideraremos una interface plana que divide dos medios dieléctricos de diferentes índices de refracción ($n_2 > n_1$).

La Fig. 2.2 muestra esta situación, en donde la onda incidente, en la interface definida entre los dos medios, se divide en una parte reflejada y una refractada. En el momento en que el ángulo de incidencia θ_1 disminuye, hasta alcanzar un valor en el cual el rayo de luz en el aire es paralelo a la superficie de vidrio, se obtiene lo que se conoce como ángulo crítico de incidencia θ_c . Cuando el ángulo de incidencia θ_1 es menor que el ángulo crítico, la condición para la reflexión total interna se cumple; esto es, la luz es totalmente reflejada dentro del núcleo de la fibra, con lo cual no hay escape de luz de la superficie del vidrio.

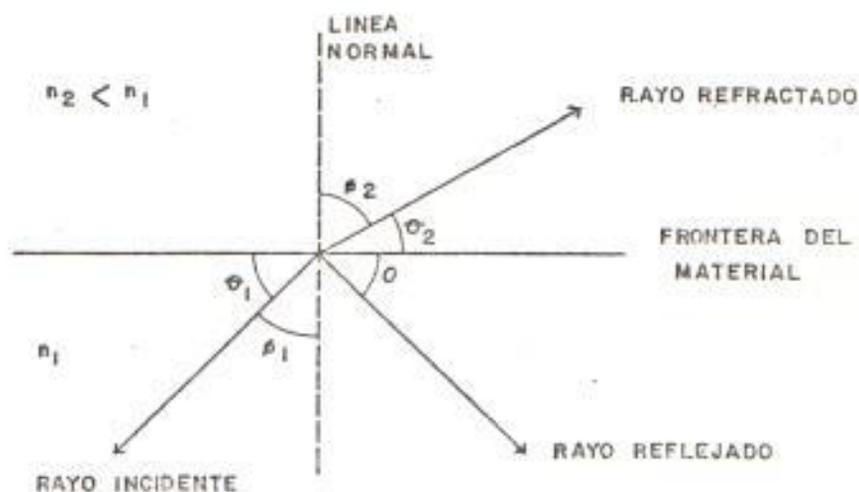


Fig. 2.1 Reflexión y refracción de un rayo de luz en la frontera de dos materiales

Cuando el rayo de luz en el aire es paralelo a la superficie del vidrio, entonces $\theta_2 = 0$, esto es $\cos \theta_2 = 1$, así el ángulo crítico en el vidrio es:

$$\theta_c = \text{arc cos } (n_2/n_1) \quad (2.3)$$

Usando $n_1=1.5$ para el vidrio, y $n_2=1.0$ para el aire, θ_c es aproximadamente igual a 48° , por lo tanto cualquier rayo de luz incidente en la superficie del vidrio, con un ángulo θ_i menor que 48° sera totalmente reflejado dentro del vidrio.

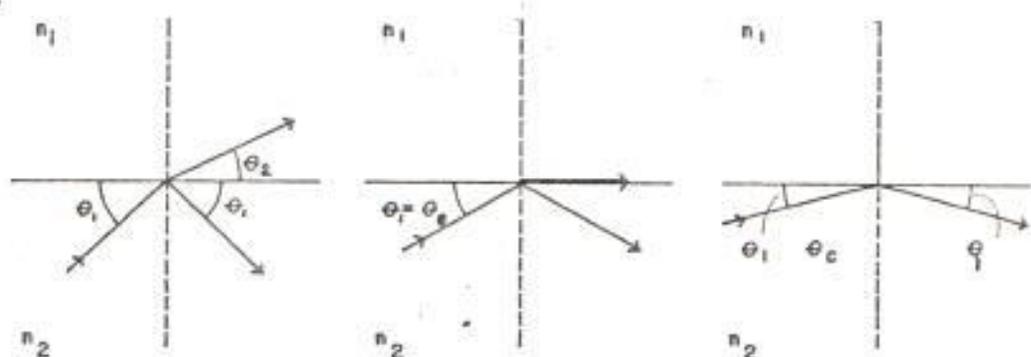


Fig. 2.2 Representación del ángulo crítico y la reflexión total interna para una interface aire-vidrio

En otras palabras, al incidir una onda electromagnética en una interface plana dieléctrica, se puede producir la Reflexión Total Interna, si $\theta_i \leq \theta_c$, siempre y cuando $n_2 > n_1$. Por consiguiente, si deseamos guiar un rayo de

luz, basta con tener una guía dieléctrica plana ó circular que consista de una región central (núcleo) de mayor índice de refracción que la región de corteza (revestimiento), tal como se aprecia en la Fig.2.3.

2.2 MODOS Y MATERIALES DE LA FIBRA OPTICA

Una fibra óptica normalmente es de forma cilíndrica, que confina la energía electromagnética en forma de luz dentro de su superficie y guía la luz en dirección paralela a su eje; la estructura de la fibra mas aceptada es el cilindro dieléctrico sólido simple de radio a , e índice de refracción n_1 (fig. 2.4).

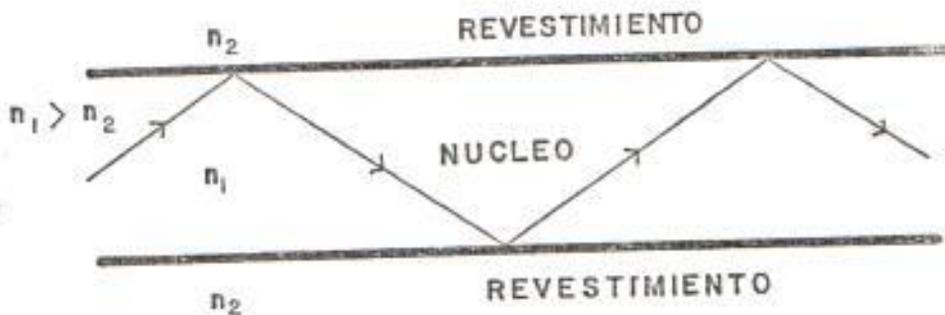


Fig. 2.3 Reflexiones en una guía dieléctrica

Este cilindro es conocido como el núcleo de la fibra, el cual está protegido por un revestimiento dieléctrico sólido que tiene un índice de refracción n_2 menor que n_1 .

2.2.1 Apertura numérica

La apertura numérica es comunmente usada para describir la aceptación de luz ó capacidad de acceso de la señal óptica a la fibra y, para calcular la eficiencia de acoplamiento de potencia de fuente a fibra óptica, la cual está relacionada con el ángulo de máxima aceptación.

La apertura numérica está definida como:

$$\begin{aligned} \text{Sen } \theta_{\text{max}} &= n_1 \text{sen } \theta_c \\ &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2.4) \end{aligned}$$

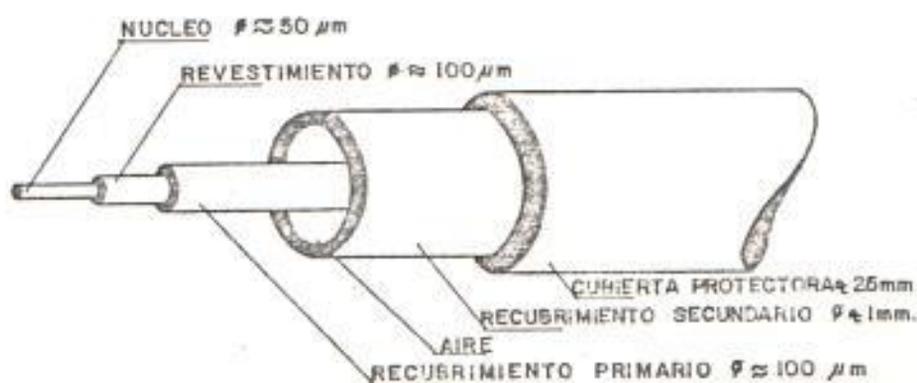


Fig. 2.4 Estructura de una fibra simple.

Mientras más pequeña es la apertura numérica, mayor es la dificultad para enviar luz dentro de la fibra; la mayoría de las fibras tienen aperturas numéricas cuyos valores oscilan entre 0.2 y 0.25; pero estos valores se reducen en fibras con gran-

des anchos de banda y poca atenuación (Fig.2.5).

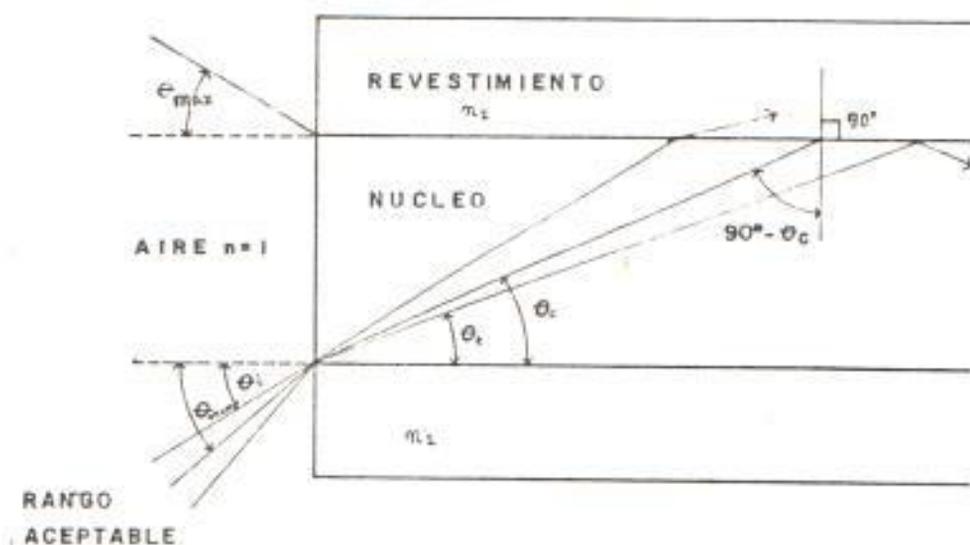


Fig. 2.5 Apertura numérica

2.2.2 Modos de la fibra

La propagación de la luz a lo largo del guía-onda, puede ser descrita en términos de un juego de guías de ondas electromagnéticas, llamados los modos del guía-onda; estos modos guiados, se refieren a las superficies de los modos atrapados en las guías ondas. Cada modo guiado es un patrón de líneas de campo eléctrico y magnético, que se repiten a lo largo de la fibra a intervalos iguales de longitud de onda; sólo un número discreto de modos son capaces de propagarse a lo largo de la guía. Estos modos satisfacen la siguiente ecuación:

$$2Kn_1 \cdot \text{sen}\theta \cdot 2a - 2\Phi = 2N\pi \quad (2.5)$$

donde:

N = número entero

$K = w/C = 2\pi/\lambda$

Φ = desplazamiento de Goos-Haenchen

n_1 = índice de refracción del núcleo

$2a$ = diámetro del núcleo

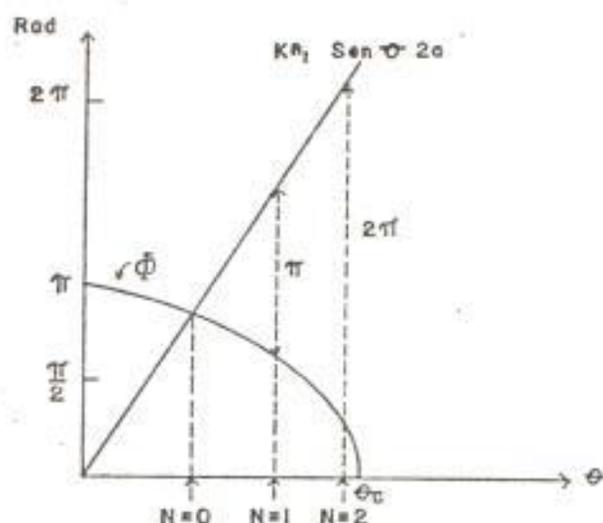


Fig. 2.6 Relación entre Φ y $Kn_1 \cdot \text{sen}\theta \cdot 2a$

La ecuación (2.5) puede ser transformada en el gráfico de la Fig. 2.6, si se definen valores para N tal como se indica a continuación.

$$\begin{array}{lll} \text{si } Kn_1 \cdot \text{sen}\theta \cdot 2a - \Phi = 0 & 0 = N\pi & \text{entonces } N=0 \\ Kn_1 \cdot \text{sen}\theta \cdot 2a - \Phi = \pi & \pi = N\pi & \text{entonces } N=1 \\ Kn_1 \cdot \text{sen}\theta \cdot 2a - \Phi = 2\pi & 2\pi = N\pi & \text{entonces } N=2 \end{array}$$

El ángulo de reflexión en el modo N^{th} (θ_N) se calcula haciendo un cambio en la ecuación (2.5); de la siguiente manera.

$$\theta_N \approx \text{sen} \theta_N = \frac{\pi}{k n_1 (2a)} (N + 1) \quad (2.6)$$

El ángulo de reflexión para el N^{th} modo máximo es:

$$\begin{aligned} \theta_{N_{\text{max}}} \approx \text{sen} \theta_c &= (1 - \cos^2 \theta_c)^{1/2} \\ &= \frac{1}{n_1} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \leftarrow \theta_c = \text{arc. cos } n_2/n_1 \\ &= \frac{\pi}{k n_1 (2a)} (N_{\text{max}} + 1) \end{aligned}$$

Así, el máximo número de modos (\sqrt{V}) capaces de propagarse son:

$$\sqrt{V} = N_{\text{max}} + 1 \approx \frac{V}{\frac{\pi}{2}} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{donde, } V &= k a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \end{aligned}$$

V es llamada la frecuencia normalizada

Sin embargo, las ecuaciones anteriores pueden ser aplicadas solo a una parte de las guías-onda, para las fibras actuales, las ecuaciones deberían ser modificadas; entonces el número total de modos s está dado por:

$$V_s = \left[\frac{V}{\frac{\pi}{2}} \right]^2 = (V^2)/2 \quad (2.8)$$

Si $0 < V < V_1 = 2.405$, todos los modos excepto uno son aislados.

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{2.405} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

Este λ_c está definida como la longitud de onda de corte, la cual da la mínima longitud de onda que se requiere en una fibra de modo simple.

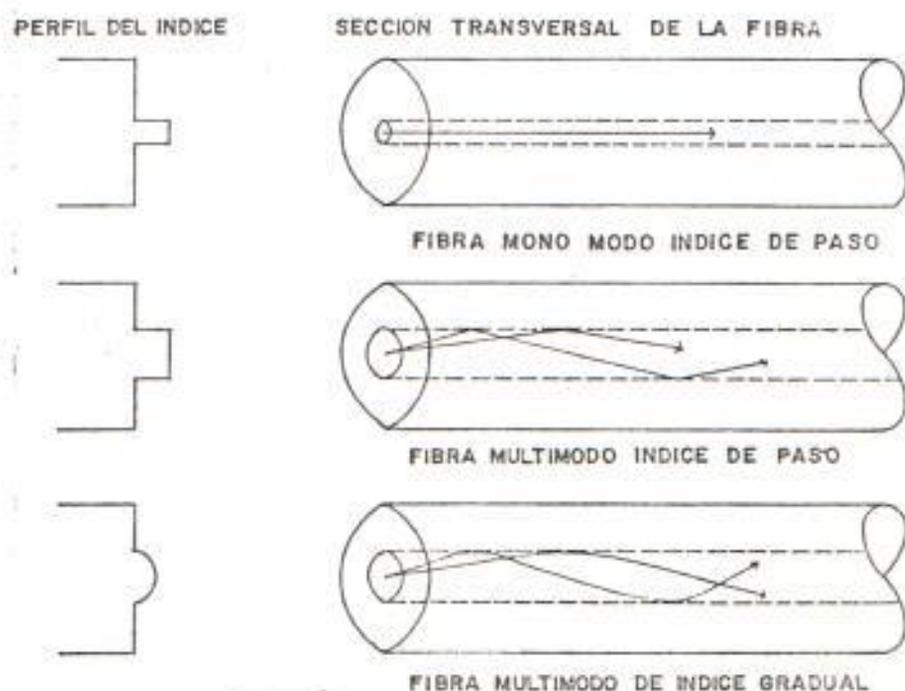


Fig. 2.7 Comparación entre los diferentes modos de propagación en las fibras ópticas

Las fibras de uso común, dependiendo de la variación en la composición del material del núcleo,

están divididas en dos grupos; las cuales se muestran en la Fig. 2.7. En el primer caso el índice de refracción n es uniforme a lo largo del núcleo de la fibra, con pequeñas variaciones en la superficie del revestimiento, fibras con estas características se las conoce con el nombre de fibras de índice de paso. En el segundo caso, el índice de refracción del núcleo está hecho para variar como una función de la distancia radial del centro de la fibra, este tipo de fibras son las de índice gradual, ambas fibras, las de paso y las de índice gradual son llamadas fibras multimodo.

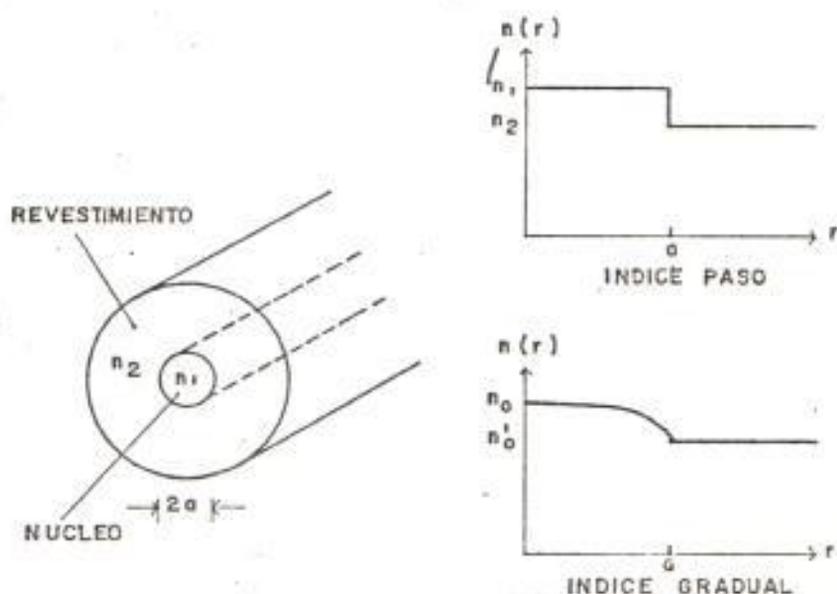


Fig. 2.8 Distribución $n(r)$ en las fibras ópticas

Entonces, de acuerdo a la distribución del índice de refracción en función del radio, $n(r)$, podemos dividir las fibras en dos clases: Las fibras de

INDICE DE PASO y las fibras de INDICE GRADUAL, las cuales están ilustradas en la Fig. 2.8.

Cuando un pulso óptico es enviado dentro de la fibra, la potencia óptica en el pulso es distribuida en todos los modos de la fibra. Cada uno de los modos que pueden propagarse en una fibra multimodo viajan a velocidades un poco diferentes, esto significa que los modos en un pulso óptico dado, llegan al final de la fibra en tiempos un poquito diferentes, causando así el ensanchamiento del pulso en el tiempo a medida que viaja a lo largo de la fibra. Este efecto es conocido como dispersión intermodal, y puede ser reducido usando un perfil de índice gradual en el núcleo de la fibra. Ya que un modo cercano al eje se propaga lentamente debido al alto índice de refracción, el modo más lejano al eje se propaga más rápidamente ya que el índice de refracción es menor, entonces el tiempo de llegada de cada uno de los modos es promediado; esto permite a las fibras de índice gradual tener mayores anchos de banda (mayor capacidad de transmitir información) que las fibras de índice de paso (Fig. 2.9).

Podemos considerar otro tipo de fibra, que se la conoce como fibra monomodo, a pesar de que las

fibras multimodo contienen muchos cientos de modos (un gran número de rayos) y una fibra monomodo sostiene solo un modo de propagación, ya que solo un modo se propaga en esta fibra, es posible tener un mayor ancho de banda sin dispersión intermodal.

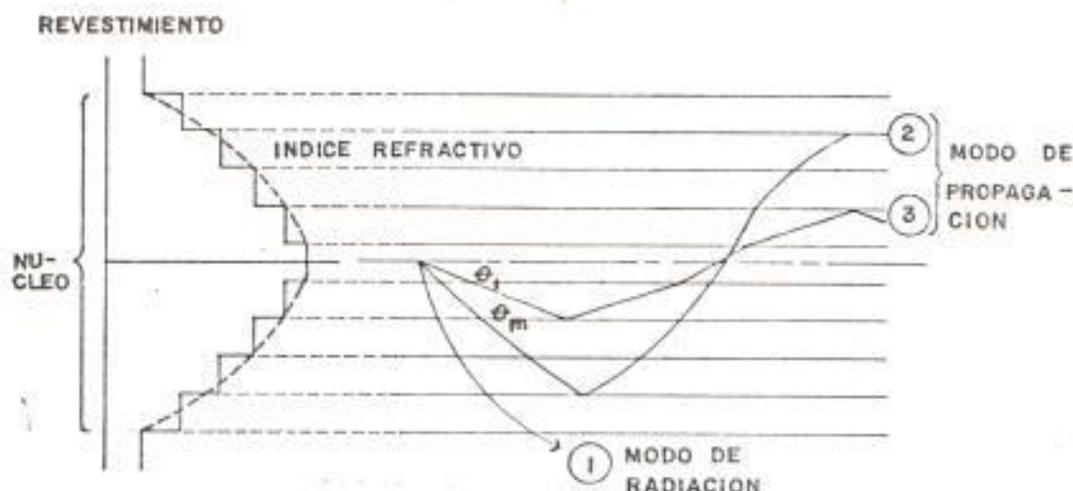


Fig. 2.9 Propagación de la luz en una fibra de índice gradual

Las fibras multimodo ofrecen algunas ventajas comparadas con las fibras monomodo, el diámetro del núcleo más grande de las fibras multimodo hacen más fácil enviar la potencia óptica dentro de la fibra y permiten conexiones más fáciles con otras fibras similares; otra ventaja, es que la luz puede ser enviada dentro de la fibra multimodo usando un diodo emisor de luz (LED), como fuente, no así la fibra monomodo que debe ser excitada con un diodo láser.

Aunque los LEDs tienen menor potencia óptica de salida que los diodos láser, son más fáciles de fabricar y son más baratos, y tienen mayor tiempo de vida que los diodos láser, haciéndolos más interesantes en muchas aplicaciones.

En conclusión podemos decir que las fibras multimodo son más apropiadas para sistemas de comunicación local de corta distancia, y las fibras monomodo para sistemas de comunicación de larga distancia.

2.2.3 Materiales de la fibra

La gran calidad de vidrios transparentes ópticos de los que las fibras ópticas son hechos, son los óxidos de vidrio. De éstos el más común es el dióxido de silicio (SiO_2), el cual tiene un índice de refracción de 1.458 a 850 nm. Para producir dos materiales similares teniendo índices de refracción ligeramente diferentes para el núcleo y el revestimiento, muchos dopantes tales como B_2O_3 , GeO_2 ó P_2O_5 son añadidos al dióxido de silicio.

2.3 ESTRUCTURA DE LA FIBRA OPTICA

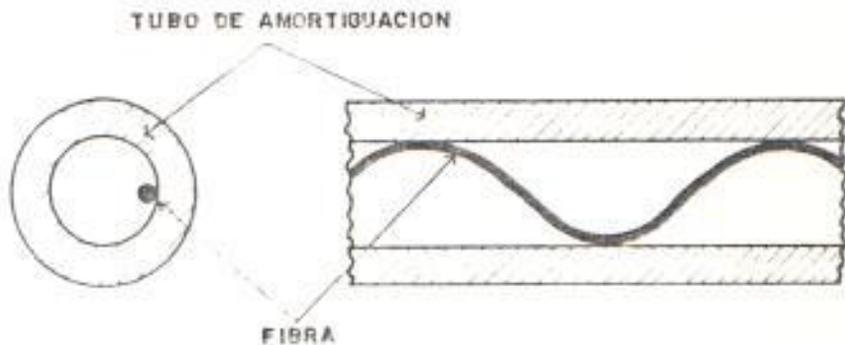
La fibra óptica debe soportar cableado, instalación,

empalmes y cambios de estaciones, y por esta razón la fibra es protegida con dos ó tres capas plásticas.

La estructura de cables de fibra óptica puede ser ampliamente clasificada en estructura rígida y estructura suave; en el caso de las estructuras rígidas, las fibras son colocadas en estrecho contacto alrededor del elemento de tensión rígido, tal que todas las expansiones y contracciones debidas a fuerzas externas ó variaciones de temperatura, etc., sean hechas juntas con el elemento tensor rígido.



(1) FIBRA DE ESTRUCTURA RIGIDA



(2) FIBRA DE ESTRUCTURA SUAVE

Fig. 2.10 Sección transversal de la fibra

En Japón las estructuras rígidas son aceptadas y ampliamente usadas actualmente, debido a que tienen muchas ventajas comparadas con las de estructura suave (Fig. 2.10).

En ausencia de este elemento tensor, el eje óptico desarrolla microcurvaturas, por lo tanto la transmisión de la luz escapa y como resultado, la fibra óptica crea pérdidas por radiación.

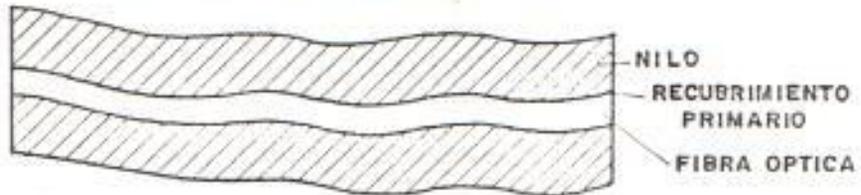
Esto es conocido como pérdidas de microcurvaturas y estas, se crean bajo las siguientes condiciones:

- a) En el momento del proceso del cableado de fabricación, la fibra óptica se arquea, creandose de esta manera micro-curvaturas.
- b) Al momento de la instalación, la fibra óptica es sometida a curvaturas de radios muy pequeños, desarrollando de esta manera micro-curvaturas.
- c) Debido a los diferentes coeficientes de expansión entre el material protector de la fibra y la fibra de vidrio, se crean micro-curvaturas como consecuencia de cambios de temperatura.

Estas micro-curvaturas pueden ser reducidas, divi-

diendo la estructura del cable en varias capas de amortiguación, además de que la fibra por sí misma está provista con una suave capa para prever micro-curvaturas, como se muestra en la Fig. 2.11.

a) FIBRA SIN CAPA AMORTIGUADORA



b) FIBRA CON CAPA AMORTIGUADORA

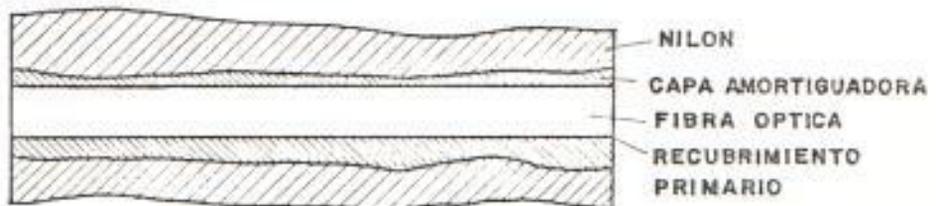


Fig. 2.11 Efecto de la capa de amortiguación en la reducción de micro-curvaturas

CAPITULO III

DEGRADACION DE LA SENAL EN LA FIBRA OPTICA

3.1 ATENUACION

3.1.1 Pérdidas en la fibra

La atenuación de una señal de luz, cuando se propaga a lo largo de la fibra, es de vital importancia en el diseño de un sistema de comunicación óptico, debido a que juega un papel importante en la determinación de la máxima distancia de transmisión, entre el transmisor y el receptor; la atenuación como una función de la longitud de onda se muestra en la Fig. 3.1.

3.1.1.1 Pérdidas por absorción

La absorción, conjuntamente con la dispersión, son las causas principales para la atenuación de las señales que se transmiten en una fibra óptica.

Estas son producidas por impurezas indeseadas en el material de la fibra óptica y solo tiene consecuencias en determinadas longitudes de onda.

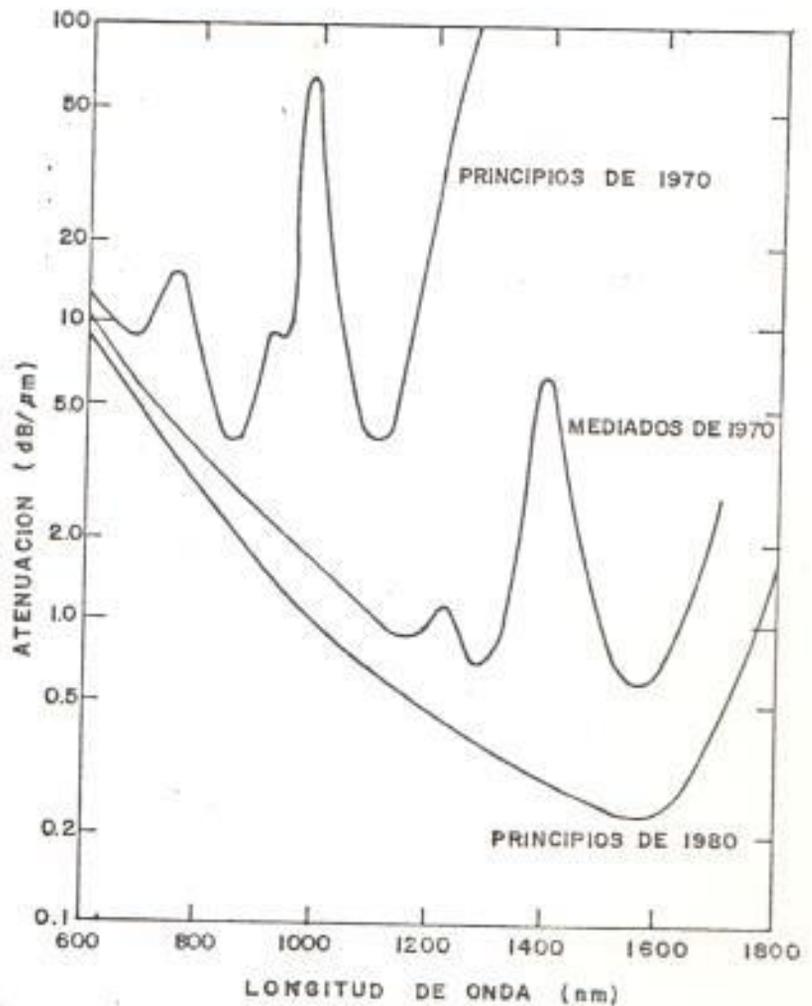


Fig. 3.1 Curva que representa la atenuación en la fibra óptica

La absorción se produce por dos situaciones diferentes:

- a) Absorción intrínseca del material

La absorción intrínseca está relacionada con el material básico de la fibra (por ejemplo, dióxido de silicio puro SiO_2), y resulta como consecuencia de la absorción en la región ultravioleta y en la región cercana a la infrarroja (Fig. 3.2).

b) Absorción de impurezas

La presencia de impurezas (iones OH) en la fibra, producen grandes pérdidas de absorción, por esta razón, en la fabricación de fibras, la concentración de iones OH debe ser tan baja como sea posible (Fig. 3.3).

3.1.1.2 Pérdidas de esparcimiento de Rayleigh

El esparcimiento de Rayleigh se origina por fluctuaciones térmicas y fluctuaciones composicionales del material de la fibra.

Cuando la luz se propaga a través de un material no homogéneo (turbiedad), la luz se refleja en otras direcciones (Fig. 3.4).

Este fenómeno, llamado esparcimiento de

ORIGEN DE PERDIDAS EN FIBRAS OPTICAS

- ① ABSORCION ULTRAVIOLETA
- ② ABSORCION INFRAROJA
- ③ ESPARCIMIENTO DE RAYLEIGH
- ④ ABSORCION DE IMPUREZAS
- ⑤ IMPERFECCION DE LA GUIA

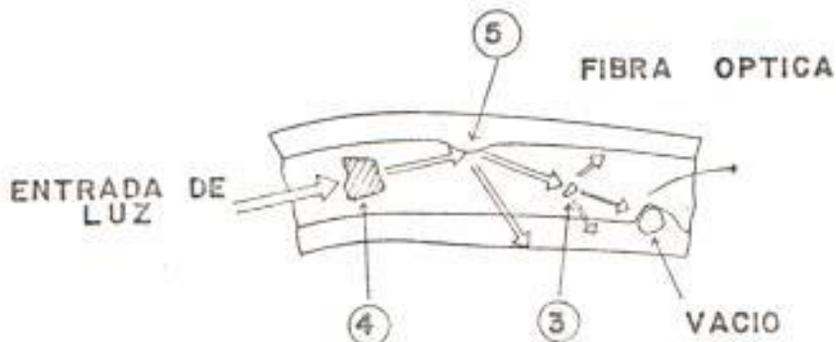
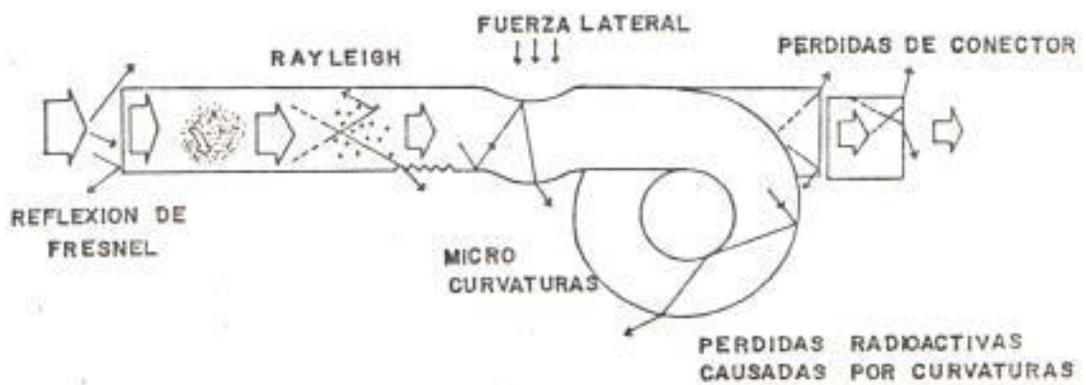


Fig. 3.2 Causas que representan las pérdidas en las fibras ópticas

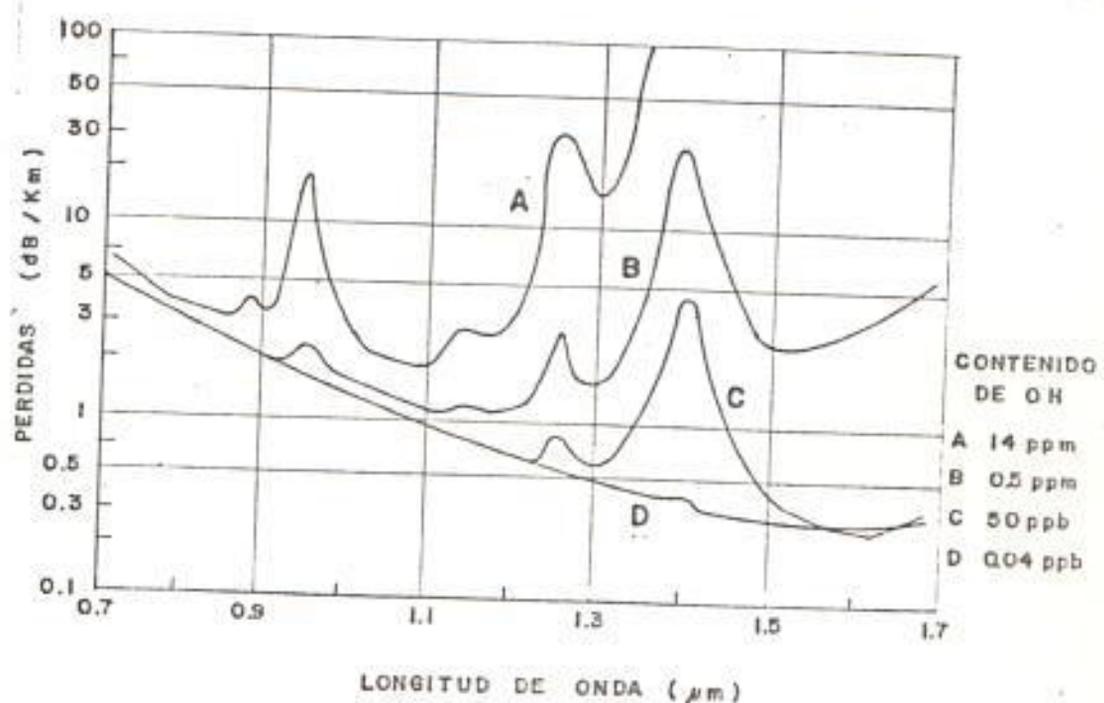
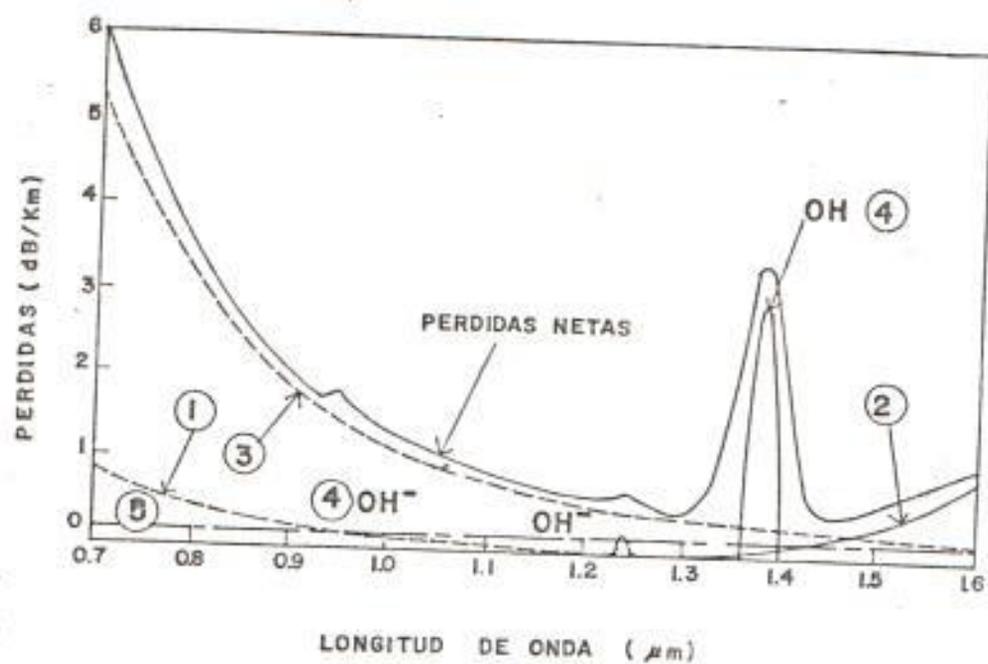


Fig. 3.3 Espectro de las pérdidas de fibras con agua

Rayleigh, se debe a la existencia de pequeñas partículas y zonas no homogéneas, las cuales al ser iluminadas emiten luz en todas direcciones. Las pérdidas del esparcimiento de Rayleigh son, inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.

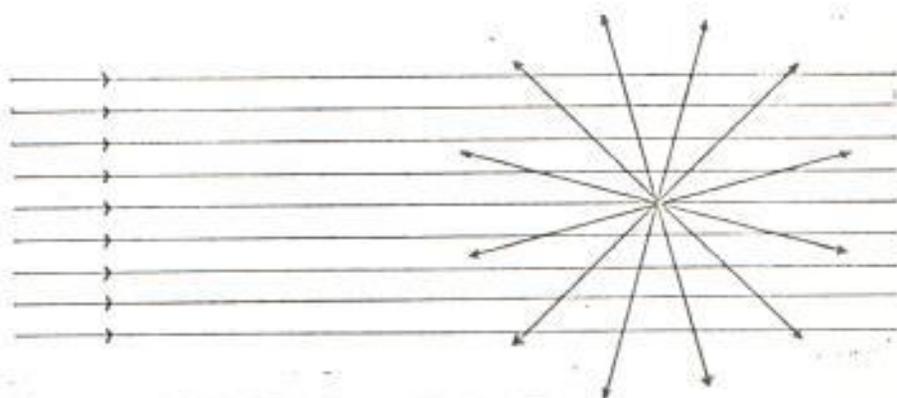


Fig. 3.4 Esparcimiento de Rayleigh.

3.1.1.3 Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación, se producen en aquellos lugares donde la fibra presenta curvaturas de radio finito (ver Fig. 3.2).

Las fibras pueden estar sometidas a dos tipos de curvaturas:

a) Curvaturas que tienen radios mayores

que los comparados con el diámetro de la fibra, estas aparecen cuando el cable de fibra dobla una esquina.

- b) Curvaturas microscópicas aleatorias del eje de la fibra que pueden formarse cuando la fibra es colocada dentro de los cables o, cuando el cable de fibra es instalado.

3.2 ANCHO DE BANDA

Una señal óptica comienza a distorsionarse a medida que viaja a lo largo de la fibra. Esta distorsión resulta de la dispersión intramodal y de los efectos de retardo intermodales.

3.2.1 Dispersión intramodal

La dispersión intramodal está constituida por Dispersión material y dispersión del guía-onda.

3.2.1.1 Dispersión material

Esta causa el ensanchamiento temporal de los impulsos en la fibra, debido a la dependencia del índice de refracción del vidrio con la longitud de onda, y además, porque la anchura espectral de las fuentes ópticas utilizadas en la práctica no es nula (Fig. 3.5).

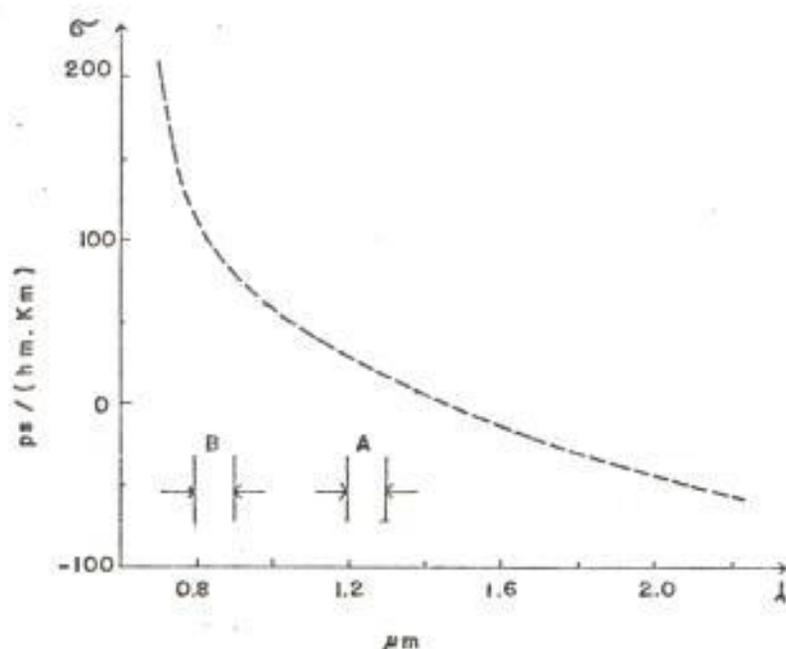


Fig 3.5 Dispersión en una fibra óptica

3.2.1.2 Dispersión del guía-onda

En su origen físico, la contribución al ensanchamiento de los impulsos ópticos al viajar por la fibra a causa del material,

está totalmente unida a la de la estructura geométrica y óptica del guía-onda. Ambas son proporcionales a la longitud del enlace y a la anchura espectral de radiación del emisor óptico. En la práctica la dispersión debida al guía-onda solo tiene peso en las fibras monomodo (Fig. 3.6).

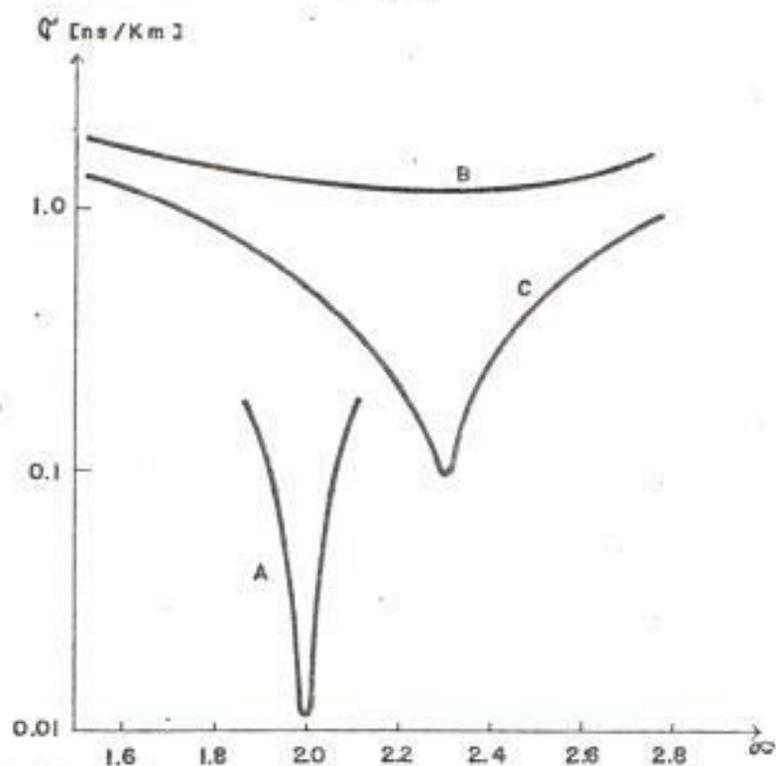


Fig. 3.6 Dispersión en función de λ .

3.2.2 Dispersión Intermodal

Esta dispersión se origina debido a que cada uno de los modos que se propagan por el guía-onda pueden seguir una trayectoria distinta en el interior

del núcleo. Como además la velocidad de la luz en cada punto depende del índice de refracción, los modos de propagación sufren retardos relativos que dan lugar a un ensanchamiento temporal de los impulsos de luz.

Estos factores limitan el ancho de banda de cada fibra; como resultado de la dispersión, la señal inducida se distorciona, debido al ensanchamiento del pulso de luz, como se muestra a continuación (Fig. 3.7).

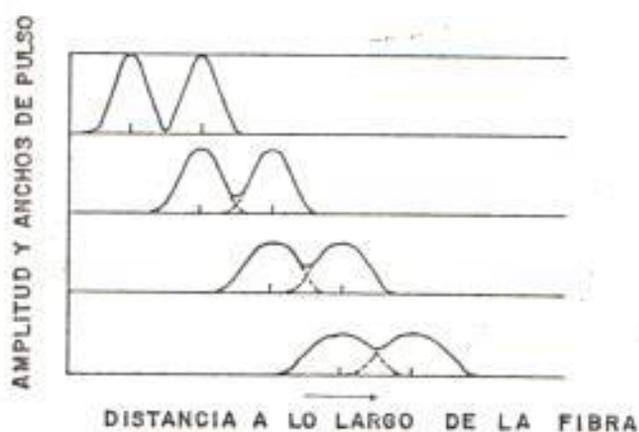


Fig. 3.7 Dispersión de la señal

Este ensanchamiento del pulso, temporalmente creará un traslape del pulso sobre los pulsos vecinos; por lo tanto, después de que un cierto número de traslapes hayan ocurrido, los pulsos adyacentes no podrán ser distinguidos individualmente en el receptor, ocasionando con esto errores en la trans-

mision de las señales; así las propiedades dispersivas determinan los límites de la capacidad de información de la fibra.

Una medida de la capacidad de información de un guía-onda óptico es normalmente especificado por el ancho de banda-distancia en Mhz.Km.

El ancho de banda óptico de la fibra puede ser definido en términos del ancho de banda de 3 dB, el cual es la frecuencia de modulación a la cual la potencia óptica a caído a un medio de la frecuencia de modulación zero.

3.3 ANALISIS DE LINEA

Si se planifica un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica, el análisis del sistema debe ser desarrollado para determinar los requerimientos de atenuación y ancho de banda en la línea de fibra óptica, así como también para saber si se necesitan repetidores óptico. Debido a que los repetidores son muy caros en la instalación y mantenimiento, las características de la fibra tienen una gran influencia en los costos del sistema, ya que los repetidores son algunas veces instalados en áreas remotas donde no esta disponible la electricidad.

En este caso los repetidores deben ser alimentados con células solares que también son muy costosas.

Las longitudes seccionales permitidas entre repetidores (ó equipos terminales) en sistemas de fibra multimodo se determina en función del ancho de banda del sistema y de las pérdidas del enlace.

3.3.1 Ancho de banda del sistema

El ancho de banda sobre cierta sección de longitud se calcula de la siguiente manera:

$$f_{cL} = f_c / L^r \quad \text{de donde} \quad L = (f_c / f_{cL})^{1/r}$$

Donde:

f_{cL} = ancho de banda necesario de la fibra empalmada en una sección del repetidor la cual está basada en las características del equipo.

f_c = ancho de banda de una fibra de un Km.

r = factor de concatenación.

L = longitud seccional en Km.

3.3.2 Pérdidas de enlace

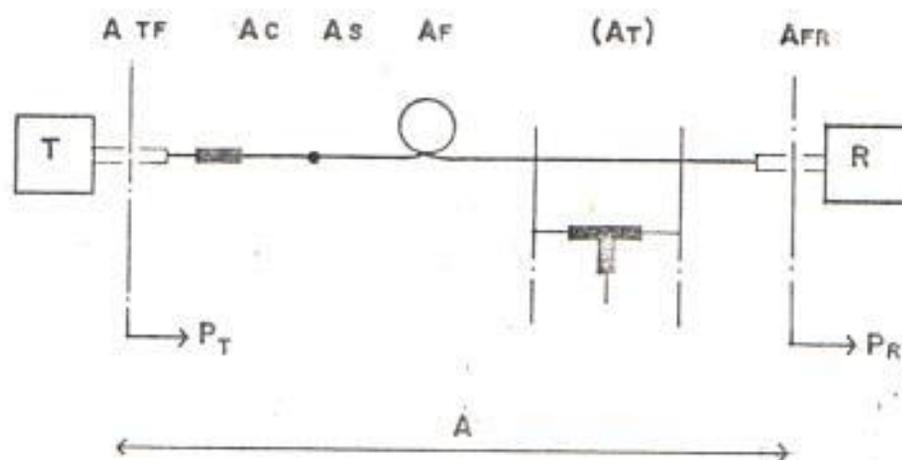


Fig. 3.8 Atenuación de Transmisión

La Fig. 3.6 representa las pérdidas totales de la fibra y consisten en: Pérdidas de fibra, pérdidas de empalmes, pérdidas de conectores, etc. todas estas deben agruparse en las pérdidas de enlace, las cuales son determinadas por las características del equipo terminal.

Donde:

A_{TF} = Pérdida de inserción de transmisor a fibra

A_C = Atenuación en el conector

A_S = Atenuación en el empalme

A_F = Atenuación en la fibra

A_T = Atenuación en la derivación

A_{FR} = Pérdida de inserción de receptor a fibra

- P_t = Potencia de salida del transmisor (en la interfase)
- P_r = Potencia de entrada al receptor (en la interfase)
- l = Longitud de la fibra

Un diagrama de nivel, se utiliza muchas veces para una mejor determinación de las pérdidas de enlaces, como se muestra en la fig. 3.9.

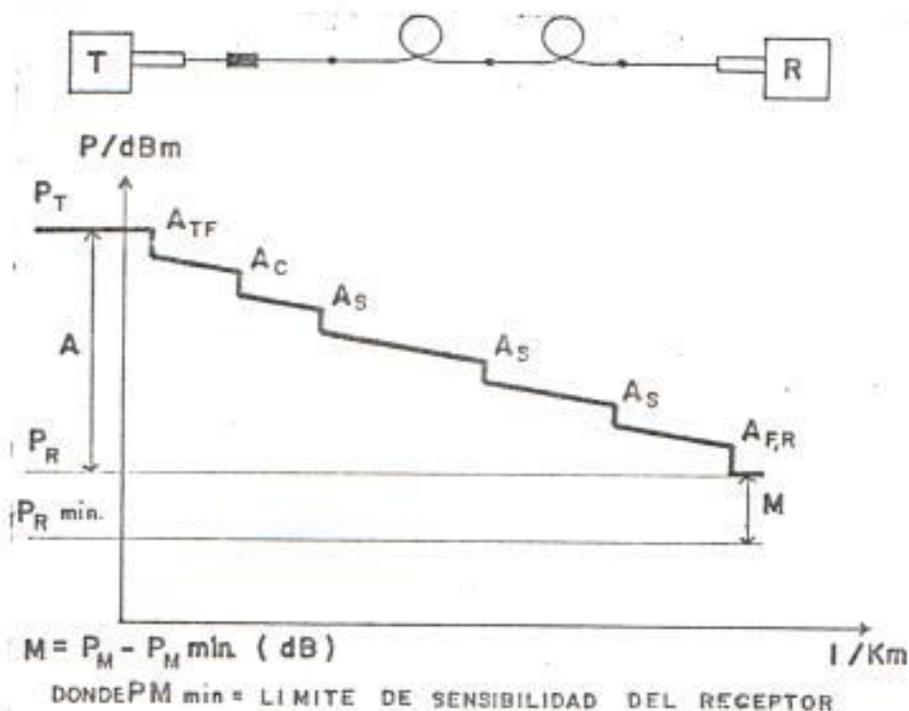


Fig. 3.9 Diagrama de nivel de un Sistema de transmisión óptico

CAPITULO IV

EL CABLE DE FIBRA OPTICA

4.1 CONSTRUCCION

Existen varios métodos para fabricar fibras ópticas, pero todas derivan de una llamada preforma que, consiste en una varilla o tubo de cuarzo dopado, de alta pureza u otro tipo de vidrio, de aproximadamente 1 m de largo.

La demanda de alta pureza significa que todo el proceso de fabricación de la fibra ha de ser realizado en áreas limpias, especialmente diseñadas.

Partiendo de la preforma, la fibra es estirada por diferentes métodos en longitudes que la hacen aptas para su transporte e instalación como cable. La longitud de los cables son generalmente del orden de algunos kilómetros.

Hay varios métodos de fabricación de la fibra óptica, entre los cuales tenemos a los siguientes Procesos: CVD (Deposición química de vapor), VAD (Deposición axial de

la fase del vapor), Proceso de inserción de la varilla en el tubo, y el proceso de doble crisol.

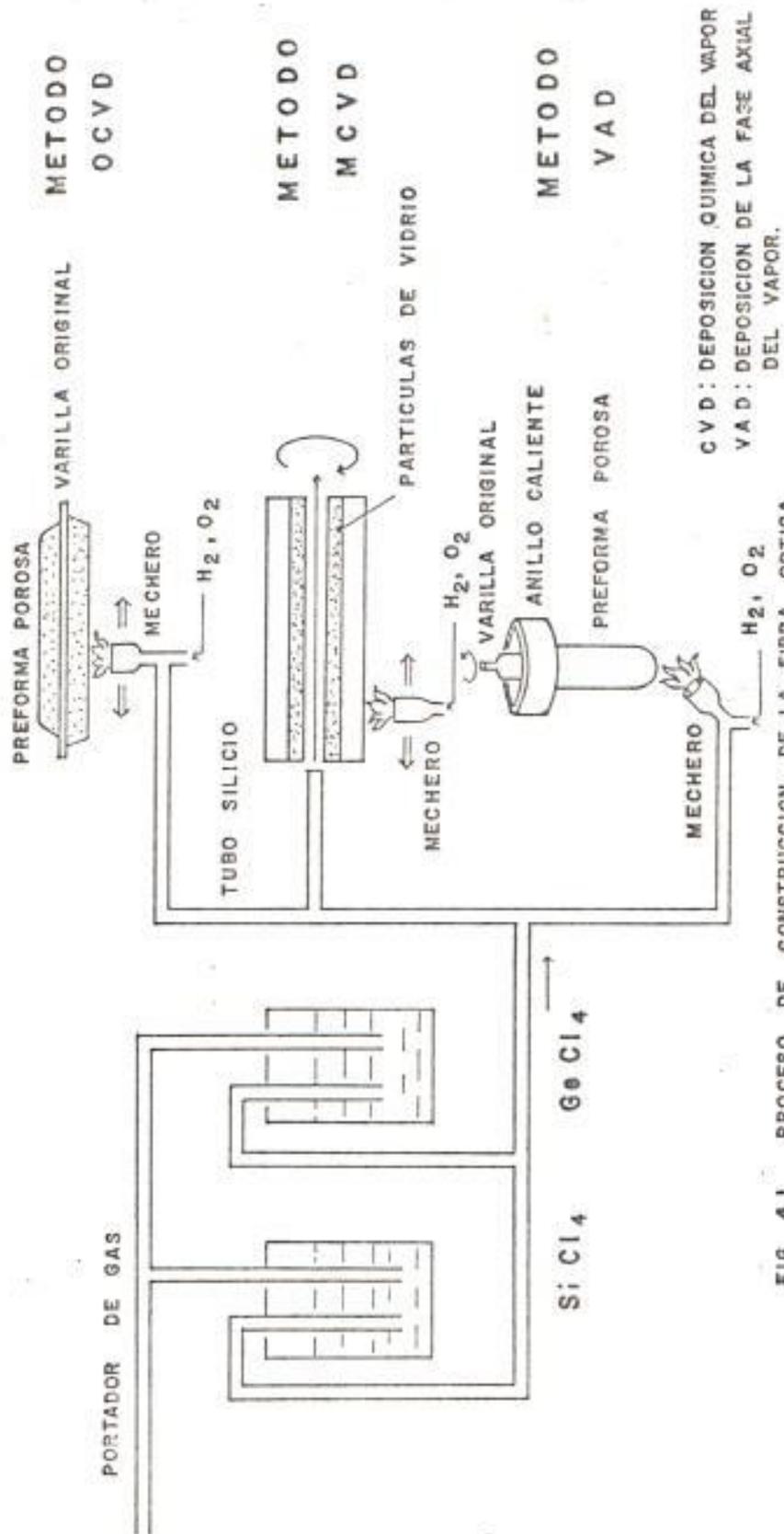
Entre las técnicas de fabricación mencionadas anteriormente, los métodos: MCVD (modificación del CVD) y, proceso VAD, son los más ampliamente usados, como métodos de fabricación de fibras ópticas de gran rendimiento, los cuales revisaremos a continuación.

4.1.1 Proceso MCVD (Deposición Modificada de la Química del Vapor)

Esta es una técnica de fabricación que fue desarrollada por la Corning Glass Works de los Estados Unidos, conocida como el proceso CVD, y fue modificada y puesta en práctica por los laboratorios de los teléfonos Bell, en 1974.

Un diagrama esquemático del método MCVD es mostrado en la Fig. 4.1. El tubo de vidrio de cuarzo es montado en un torno, el cual se hace girar, mientras es calentado a $1400 - 1600^{\circ}\text{C}$ con un quemador de Oxígeno-hidrógeno.

Cuando el quemador es movido, se alimenta la mezcla de gas, el material puro dentro del tubo de vidrio, sufre una reacción de oxidación debido al



CVD: DEPOSICION QUIMICA DEL VAPOR
 VAD: DEPOSICION DE LA FASE AXIAL DEL VAPOR.

FIG. 4.1 PROCESO DE CONSTRUCCION DE LA FIBRA OPTICA

calentamiento, entonces el vidrio y dopante son acumulados dentro del tubo de vidrio.

Al mismo tiempo que se realiza un control de la cantidad del material puro que se introduce en el tubo, el quemador es movido de atrás para adelante aproximadamente 100 veces, de esta manera se obtiene una buena preforma del tubo.

Este tubo ó pipeta es calentada a una temperatura comprendida entre 1700 - 1800°C hasta eliminar de la preforma de vidrio, un hueco central formado en el proceso anterior, para finalmente obtener la varilla definitiva.

El control del perfil del índice de refracción, se realiza midiendo la cantidad de dopante contenido, por medio de un computador.

4.1.2 Proceso VAD (Deposición Axial de la Fase del Vapor)

El proceso VAD es una técnica de fabricación desarrollada por la NTT Y 3, fabricantes de cables en el Japón. Como materia prima usan el tetracloruro de silicio (SiCl_4), de la misma forma que para la técnica MCVD.

De acuerdo a este método, la deposición de las partículas de vidrio es rápida y, por lo tanto es posible hacer preformas de gran diámetro y mayor longitud, con menor necesidad de calor, que el aplicado en los otros métodos. Como vemos, ésta es una técnica de gran productividad.

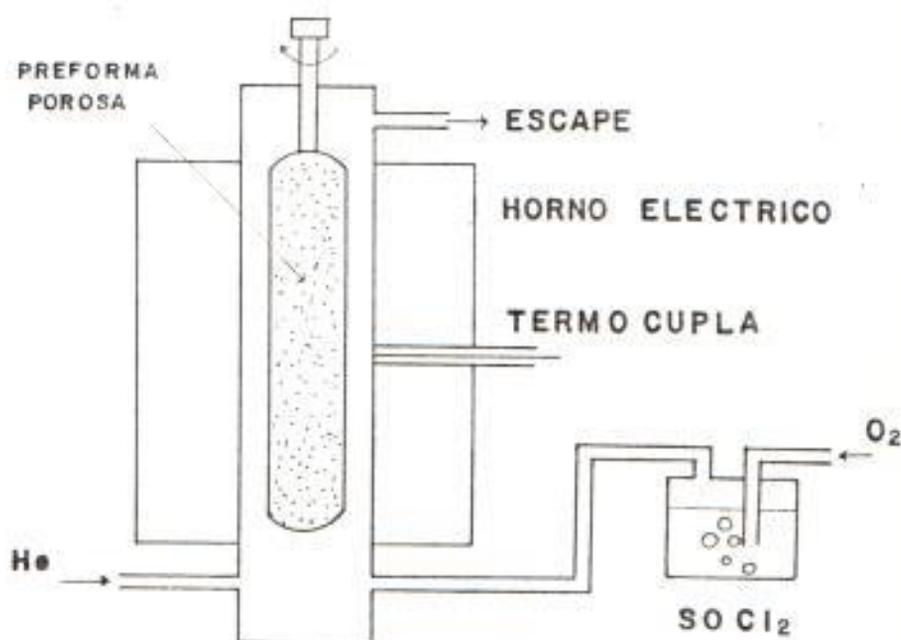
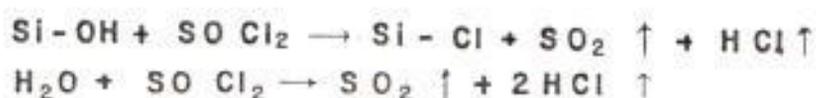


Fig. 4.2 Deshidratación y consolidación de la fibra óptica

El diagrama esquemático del proceso VAD es mostrado en la Fig. 4.1. La mezcla, de los gases obtenidos del material puro y el oxígeno-hidrógeno, es calentada por medio de dos mecheros, con lo cual

se consigue que las partículas de vidrio sean depositadas en el extremo inferior de la varilla, de esta manera se obtiene una preforma porosa.

Esta preforma porosa es sometida a deshidratación y consolidación por medio de un dispositivo como se muestra en la Fig. 4.2, para obtener una preforma baja en iones OH.

Después de la deshidratación la preforma porosa se calienta a una temperatura de 1500 a 1700 °C para convertirla en una preforma transparente.

4.1.3 Manejo de la fibra y revestimiento

La preforma producida por los métodos indicados en el párrafo anterior, es calentada y estirada en la dirección axial, para finalmente obtener la fibra óptica con su diámetro respectivo (Fig. 4.3).

Cuando conectamos fibras ópticas, estas se unen por sus extremos con referencia a su diámetro exterior, por lo tanto las fibras deben ser fabricadas con una buena precisión en su diámetro. Este diámetro es de 125 μm , con un margen de error de $\pm 0.3 \mu\text{m}$.

Un dispositivo de medición lineal es instalado en una posición exactamente después que se ha estirado la fibra, con el fin de controlar el diámetro exterior de la misma.

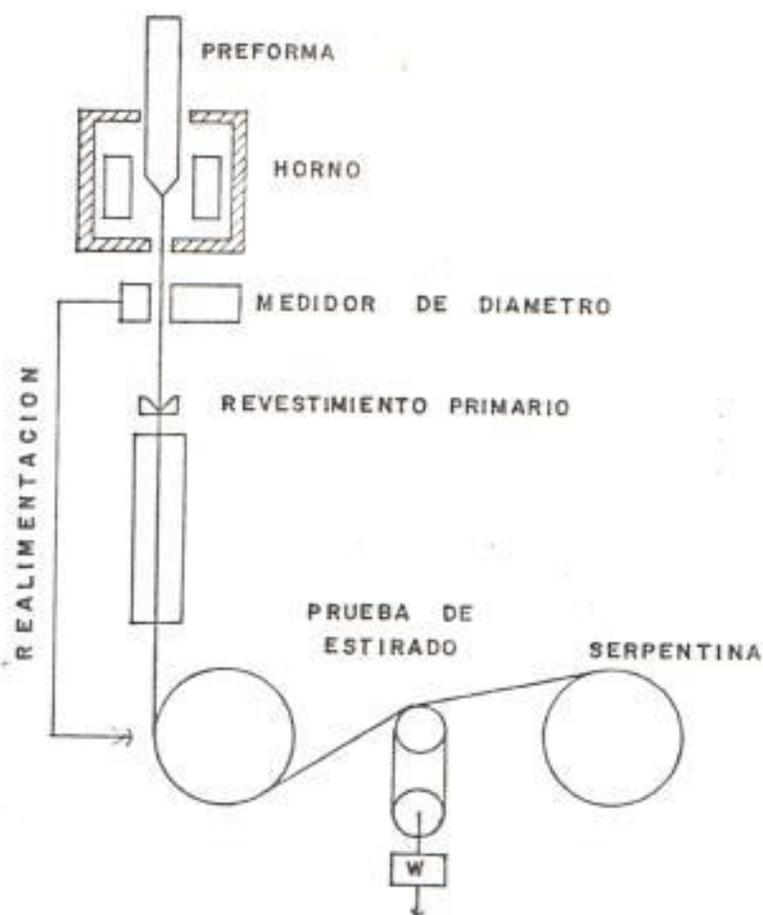


Fig. 4.3 Estirado de la fibra óptica

Al mismo tiempo, el revestimiento primario y el de amortiguación son aplicados en la varilla. Generalmente, el revestimiento secundario es aplicado para completar la fibra óptica. Además, este revestimiento también sirve de protección contra curva-

turas y fuerzas laterales que pueden dañar la fibra.

Generalmente, el nylon es el material usado como revestimiento de protección, debido a su pequeña variación de pérdidas de transmisión, en el momento del cableado de la fibra, ó por cambios de temperatura.

4.1.4 Defectos de superficie, corrosión

Si la superficie de la fibra no está protegida pueden ocurrir pequeños defectos de superficie, los cuales, por las fuerzas de tracción, crecen rápidamente. Fig. 4.4.

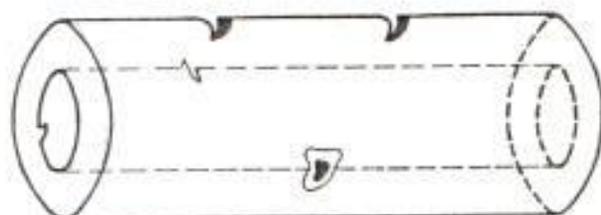


Fig. 4.4 Defectos de superficie en la fibra

Los defectos de superficie pueden ocurrir durante la fabricación, instalación, cambios de temperatura, daños mecánicos y químicos y como un normal proceso de envejecimiento.

Las pérdidas ópticas se deben al acoplamiento modal, cuando modos (rayos) que forman pequeños ángulos con el eje, cambian de dirección formando ángulos mayores que no permiten a estos modos (rayos) mantenerse dentro de la fibra, ya que exceden el máximo ángulo de aceptación, con el correspondiente aumento en la atenuación.



Fig. 4.6 Micro curvaturas en la fibra óptica

Debido a que el ángulo de incidencia " i ", para muchos rayos (modos), decrece considerablemente en una curvatura, no se alcanza la condición para la reflexión total interna y muchos rayos abandonan el núcleo (Fig. 4.7). Esta pérdida será notable si el radio de curvatura " R " es menor que 5-10 mm.

4.1.6 Comportamiento de los cables de fibra óptica en función de las condiciones ambientales

Algunos estudios se han hecho por parte de algunos fabricantes de cables ópticos, para probar el comportamiento de las fibras ópticas en presencia de

fenómenos naturales, que pueden encontrarse durante la vida del cable óptico.

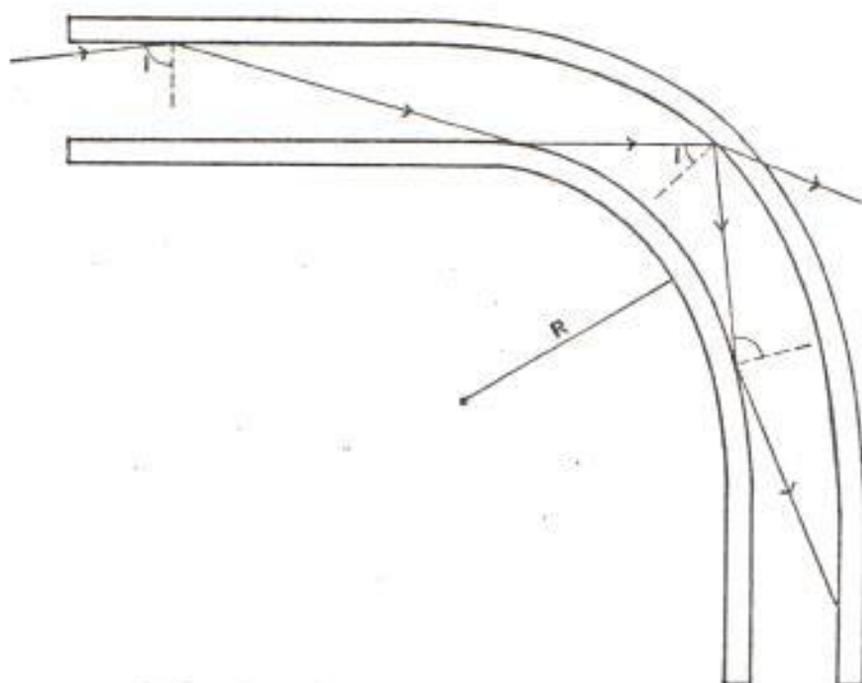


Fig. 4.7 Curvaturas en la fibra óptica

Una prueba muy importante es el análisis del comportamiento del cable óptico contra las variaciones de temperatura.

Como se menciona en la sección anterior, las variaciones de temperatura pueden causar micro-curvaturas en las fibras ópticas, las cuales pueden limitar las características mecánicas del cable. Esta prueba se realiza sometiendo el cable a variaciones de temperatura (por ejemplo en un cuarto temperado) y midiendo la variación de atenuación;

ó también realizando ensayos en secciones de cable experimental, en largos periodos de tiempo, en los cuales se registren la atenuación en relación a las variaciones de temperatura.

Otra prueba importante es la medición del deterioro de la fibra óptica localizada en un ambiente húmedo o en agua.

Por esta razón, algunos fabricantes han sumergido secciones de cables ópticos en agua por largos periodos de tiempo, controlando las características mecánicas y de transmisión del cable antes y después de la prueba.

Otros fabricantes han tomado secciones de cable óptico, a los cuales han sometido a variaciones en las características de transmisión, por largos periodos.

En ninguno de los dos casos se observaron variaciones apreciables en las características mecánicas y de transmisión.

Otras pruebas fueron realizadas en algunos laboratorios, para verificar la resistencia de la fibra a daños, debido a exposiciones ó radiación nuclear

experimental, por largo tiempo. Estas pruebas se realizaron irradiando algunos tipos de fibra óptica con fuentes de rayos gamma y fuentes de neutrones, de mayor intensidad que aquellas producidas por radiación natural.

Comparando estos datos podemos concluir que no es un problema, para los cables de fibra óptica, soportar radiaciones en un ambiente natural, como es el de las telecomunicaciones.

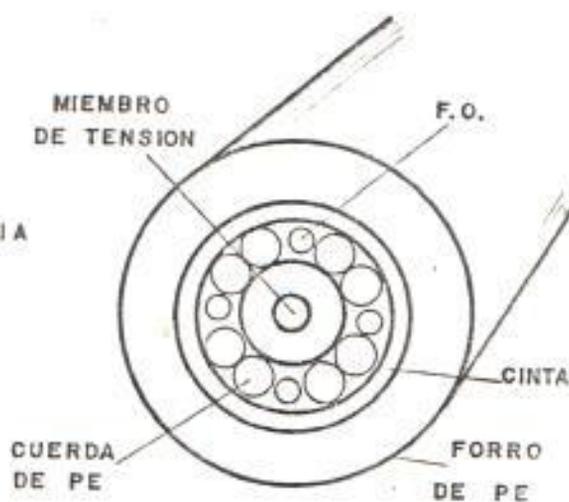
Además, los cables ópticos pueden ser probados en laboratorios contra pruebas de corrosión y envejecimiento, y los resultados comparados con aquellos obtenidos en cables metálicos convencionales.

4.2 TIPOS DE CABLE DE FIBRA OPTICA

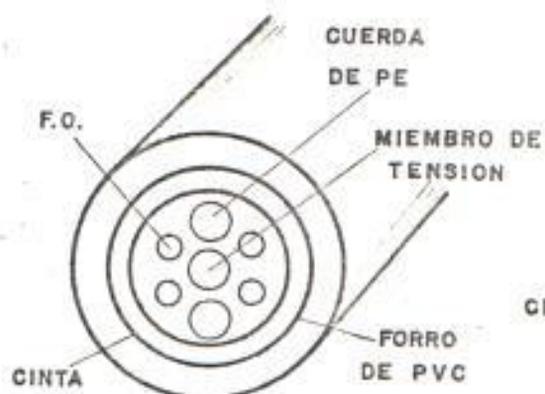
La agrupación de varias fibras, con la debida organización y protección mecánica, dá como resultado un cable óptico, que es usado comúnmente en enlaces telefónicos; de acuerdo al número de fibras por cable y al método de protección, podemos indicar que hay varios tipos de cable, ilustrados en la Fig. 4.8. Por supuesto, hay otros tipos más, que incluyen cables de mayor número de fibras, pero en esta parte, sólo ilustraremos estos pocos casos, que reúnen diferentes cualidades representativas.



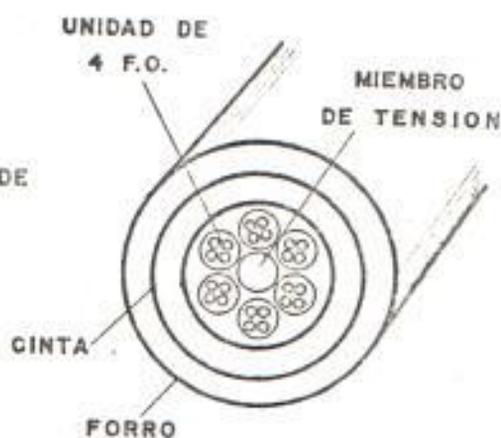
(a) CABLE DE FIBRA SIMPLE



(b) CABLE DE 4 FIBRAS



(c) CABLE DE INTERIORES DE 4 FIBRAS



(d) CABLE DE UNIDADES DE 4 FIBRAS

Fig. 4.8 Descripción de algunos tipos de cable de fibra óptica

Además de las fibras que contiene el cable, es necesario

anotar otros elementos que lo componen:

- **Forro**, que puede ser de polietileno, PVC u otro material. Sirve como protección final del cable; es lo que se ve al exterior.
- **Relleno**, es la protección interna de amortiguación; que puede ser hecho de cinta simplemente, pero para el caso de cables con muchas fibras, debe ser tipo colchon.
- **Miembros**, estos sirven para darle consistencia al cable, de tal suerte que pueda soportar esfuerzos axiales y tensiones mecánicas. Los miembros son de metal, y adquieren enorme importancia en la fabricación del cable en sí, ya que de ellos depende la vida del cable en cada aplicación.

4.2.1 Cable para enlaces de corta distancia o capacidad

Este tipo de cable se caracteriza porque el diámetro del núcleo y el revestimiento de la fibra son relativamente altos (Fig.4.9), y son muy útiles en aplicaciones para redes locales, en oficinas, enlaces entre ordenadores, transmisiones de datos, aplicaciones militares y telecontrol, etc. En general en todas aquellas aplicaciones donde el pro-

ducto "ancho de banda-distancia" que se necesita, sea del orden de 5 a 40 Mhz.Km.

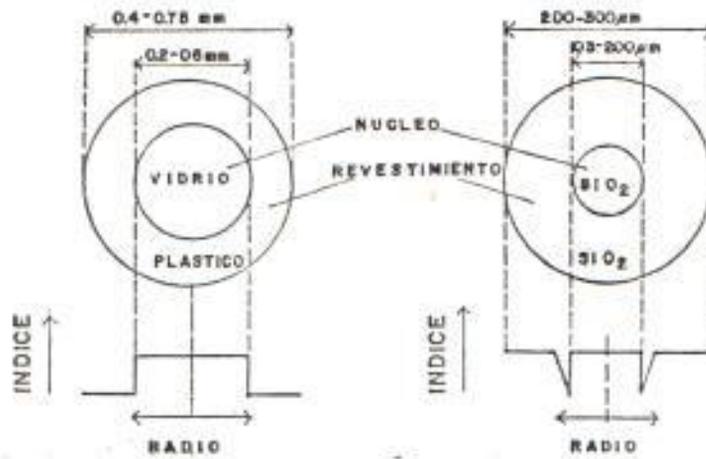


Fig. 4.9 Fibras para enlaces de corta distancia.

Se dan dos grupos de fibras para este tipo de cable: Las de revestimiento plástico y núcleo de SiO₂, y las de núcleo y revestimiento de vidrio, con perfil de índice de paso.

4.2.2 Cables para enlaces de media distancia

Este tipo de cable se caracteriza porque emplea fibras con diámetros de núcleo y aperturas numéricas mayores, que los empleados en cables para enlaces de pequeña distancia o capacidad, por ejemplo fibras de 65/125 μm, 80/125 μm ó incluso 100/140 μm, (Fig.4.10).

Al incrementar el diámetro del núcleo y la aper-

tura numérica se logra una doble ventaja:

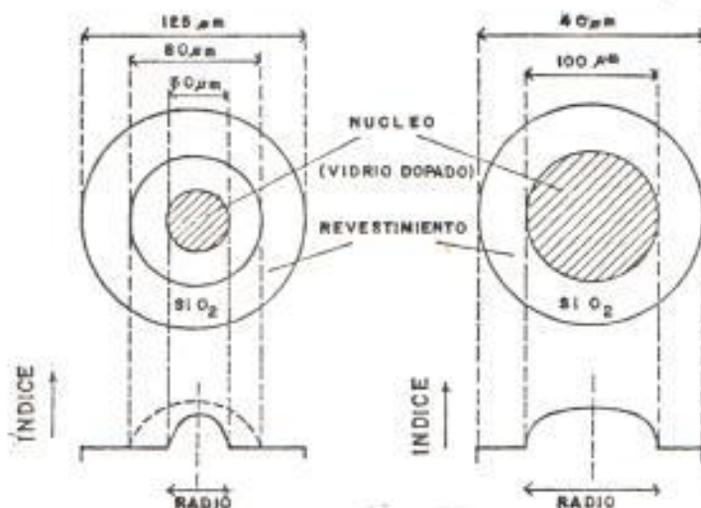


Fig. 4.10 Fibras para enlaces de media distancia.

- a) Las herramientas y métodos de conexión se simplifican.
- b) Las pérdidas de acoplamiento entre la fuente óptica y la fibra se reducen. De este modo es posible usar transmisores con LED, que simplifican y abaratan los terminales de abonados.

Los materiales y métodos de fabricación de estas fibras son similares a las de pequeña capacidad. El núcleo y el revestimiento son también de vidrio (SiO_2) convenientemente dopados.

4.2.3 Cables para enlaces de larga distancia

La necesidad de nuevos servicios de información, así como también la transición hacia técnicas de transmisión digital, hacen necesario expandir la red de cables de larga distancia, con fibras ópticas que presenten mínima atenuación y grandes anchos de banda, que posibiliten grandes distancias entre amplificadores y un número útil de canales.

Dentro de las fibras de alta calidad, empleadas para enlaces de largas distancias, distinguiremos las monomodo y las multimodo, está última de índice gradual.

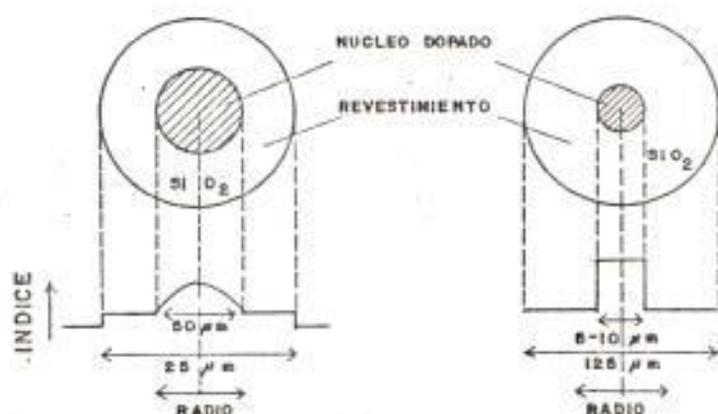


Fig. 4.11 Fibras para enlaces de gran distancia

Por su mayor ancho de banda las fibras monomodo se aplican a enlaces de larga distancia y gran flujo de información: Cables submarinos, enlaces interurbanos a 140 Mb/s ó velocidades superiores, son algunas de las aplicaciones con este tipo de fi-

bra.

En el caso de las fibras multimodo de alta calidad, se aplican a enlaces telefónicos, principalmente de redes urbanas a velocidades de 34 y 140 Mb/s. La Fig. 4.11 representa las dimensiones, constitución y revestimiento del núcleo, para cables de larga distancia interurbanos.

4.2.4 Tendido de cables ópticos

Hasta ahora miles de kilómetros de cable óptico se han tendido en muchos países del mundo, usando procedimientos similares a aquellos usados para cables convencionales; sin embargo, es necesario distinguir dos métodos fundamentales de tendido de cable: El aéreo y el terrestre.

Generalmente el tendido de cable aéreo es realizado por enganche del cable óptico (con agarraderas metálicas) a cuerdas de acero, sujeto por poleas. Sin embargo, algunos cables ópticos se han fabricado incorporando una cuerda de acero a su estructura, por lo que ya no requieren de la cuerda metálica auxiliar.

Para el tendido terrestre es necesario distinguir

dos métodos fundamentales: El tendido de trincheras (usado principalmente en rutas troncales) y el tendido en ductos (usado principalmente en redes locales).

En el primer caso, el cable óptico se coloca en la trinchera a cierta profundidad (entre 0.6 y 1 m); aunque este tipo de tendido no somete al cable a esfuerzos de tensión en particular, sin embargo puede ser necesario protegerlo contra compresión radial.

En el segundo método, el cable es empujado en ductos; la tensión de empuje depende del peso del cable, esto es de su longitud y peso específico (el cual puede determinarse por el elemento tensor); también depende del coeficiente de fricción entre el ducto y el cable, y del cambio de dirección ó nivel de los ductos.

Para reducir la fricción, se utilizan lubricantes; además de un equipo adecuado (ejemplo tiradores), especialmente en los desagües, donde se producen los cambios de dirección o nivel de ductos.

4.3 APLICACION Y UTILIZACION DE CABLES DE FIBRA OPTICA

Existe actualmente una gran cantidad de sistemas pequeños y grandes que funcionan en el mundo utilizando cables de fibra óptica. El propósito de esta sección es ilustrar unos cuantos ejemplos representativos en donde se aplican las fibras y cables ópticos.

Para ello, se describen algunos proyectos correspondientes a cuatro campos de aplicación:

4.3.1 Enlace digital terrestre de larga distancia.

En febrero de 1983, la ATT inauguró la primera fase (372 millas) del enlace de 776 millas por fibra óptica entre Washington (Virginia) y Cambridge (Massachusetts) Fig.4.12.



Fig. 4.12 Enlace digital terrestre de 776 millas

En 1984 se completó el enlace que une la costa este de los Estados Unidos, siendo este, el mayor

enlace con repetidores telealimentados. Actualmente el sistema soporta 240.000 conversaciones telefónicas simultáneas.

El cable contiene, según los tramos, entre 48 y 144 fibras multimodo de índice gradual; la estructura del cable es de forma laminar, con 12 fibras por lámina, el diámetro exterior del cable es de 0.5 pulgadas. De las 980 Km, 825 Km van instalados en conductos, y 125 Km se instalaron directamente en tierra.

Las fibras instaladas trabajan con sistemas de 45 Mb/s, con diodos láser en 820 nm y con distancias de 6.4 Km entre repetidores. Para finales de 1989 se espera ampliar la capacidad a 90 Mb/s, usando técnicas de multiplexación en longitud de onda.

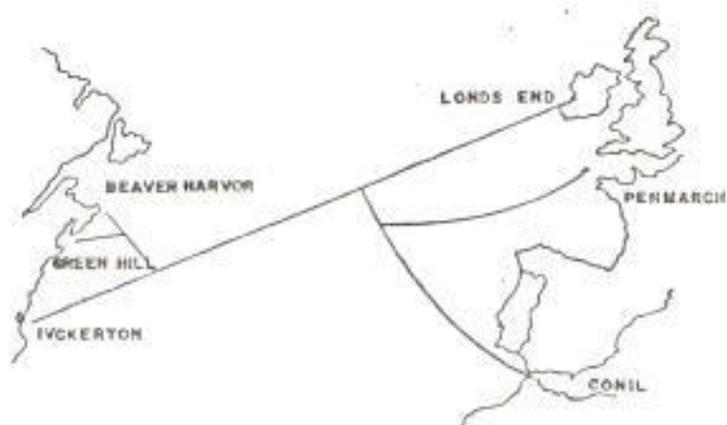


Fig. 4.13 Configuración del enlace submarino

4.3.2 Enlaces submarinos

A mediados del año 89, se unirán Europa y Estados Unidos con un cable de fibra óptica de 6500 Km, tendido a una profundidad máxima de 5.5 Km.

Su capacidad inicial será de 8.000 canales telefónicos, extensibles hasta 35.000 con el sistema de interpolación TASI (interpolación de canal por asignación de tiempo).

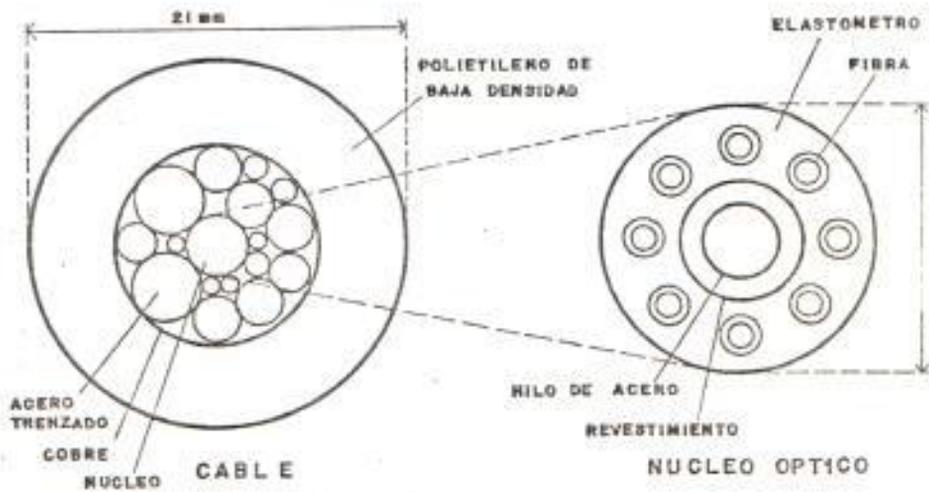


Fig. 4.14 Estructura para el cable de aguas profundas

El proyecto está concebido para admitir hasta 5 ramificaciones en Y; la Fig.4.13 refleja la configuración del sistema. El sistema operará a 280 Mb/s sobre fibra monomodo, los repetidores tendrán una distancia de 35 Km, el cable incluye

12 fibras Fig 4.14, las cuales han sido seleccionadas cumpliendo rigurosas medidas para verificar sus propiedades mecánicas.

La vida del sistema es de 24 años (con un máximo de tres reparaciones del cable). Para satisfacer estos objetivos, cada transmisor laser lleva otros dos de reserva en paralelo (ver Fig.4.15); desde las estaciones terminales se supervisara continuamente la polarización de los láseres y desde los extremos del cable, sera posible conmutar cualquiera de los láseres en el momento oportuno.

4.3.3 Aplicaciones militares

La fuerza aérea de los Estados Unidos patrocinaron durante 1980-1984 un programa con objeto de instalar una red de interconexión por fibra óptica en el complejo de misiles MX, en Bandeburg Figs.4.15 y 4.16. Se trata de unos de los proyectos de más envergadura realizados hasta la fecha, implica unos 15.000 Km de cable óptico y unos 10.000 transmisores y receptores, este programa contempla diversos enlaces de corta y media distancia (hasta 8 Km), basicamente para telemetria de 1.45 Mb/s. Los enlaces deben ser altamente fiables, con una vida superior a los 20 años, en las rigurosas

condiciones ambientales de los sistemas militares.

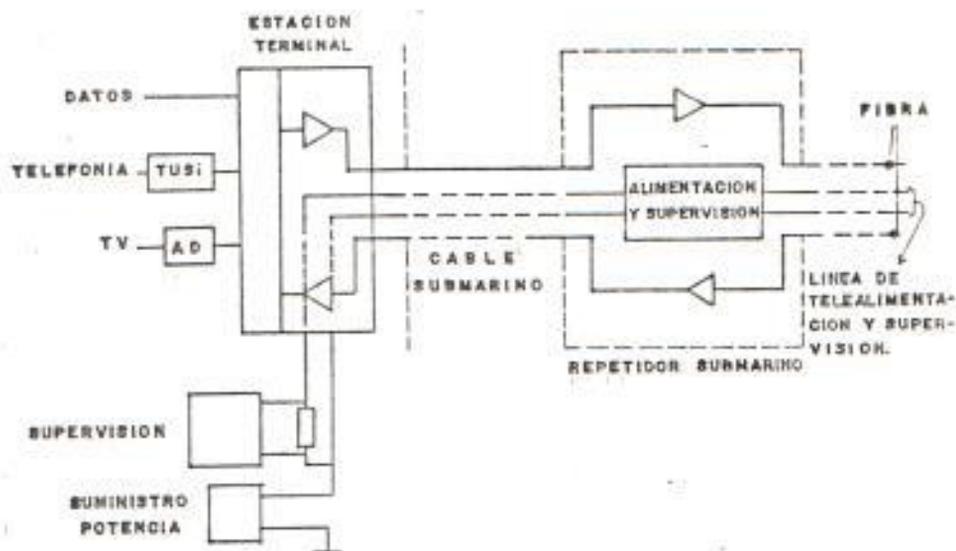


Fig. 4.15 Configuración de control del enlace marino

Se emplearon cables de 4, 6 y 8 fibras, con perfil de índice gradual y geometría de 50/125 μ m. Los transmisores ópticos trabajan en 850 nm, con LED y láseres de inyección desarrollado por GTE.

4.3.4 Distribución de TV por cable óptico

La empresa Saskatchewan Telecommunications inició en 1980 un programa de 4 años con objeto de establecer una red de 3.450 Km de cable óptico para distribuir programas de video, en la provincia canadiense de Saskatchewan. El proyecto permite enlazar las 50 poblaciones más importantes de la

provincia proporcionando, junto a la distribución de 4 canales de video, circuitos bidireccionales (telefónicos y de datos).

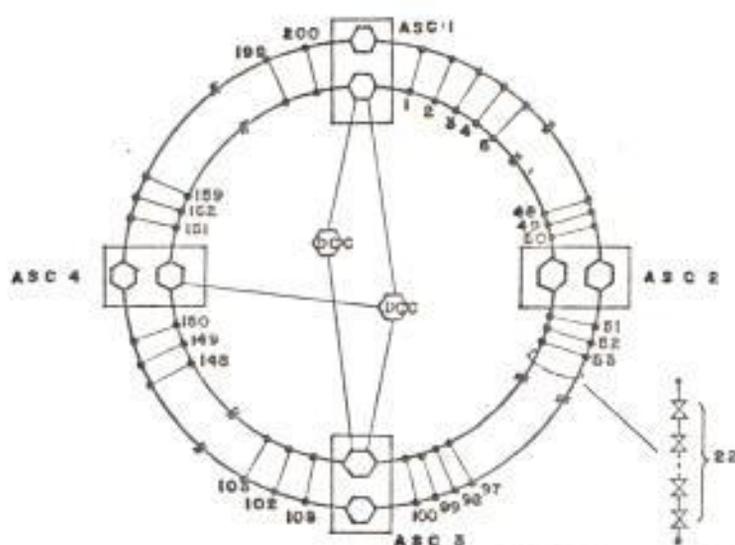


Fig. 4.16 Red de intercomunicación de misiles

Al estudiar el proyecto se barajó la alternativa de hacer la distribución por satélite; al final la decisión fue a favor de las fibras, al incluir servicios bidireccionales (teléfono, datos y algunos puntos de TV) y al ponderar algunas implicaciones técnicas y legales sobre el espectro de frecuencias.

La red utiliza un cable de 12 fibras multimodo de índice gradual, optimizadas en primera y segunda ventana. Se diseñó pensando que fuese válida para instalaciones aéreas, directamente enterradas o en

subconductos. El cable se especifico con una vida de 40 años y margen operacional de -40°C a 55°C .

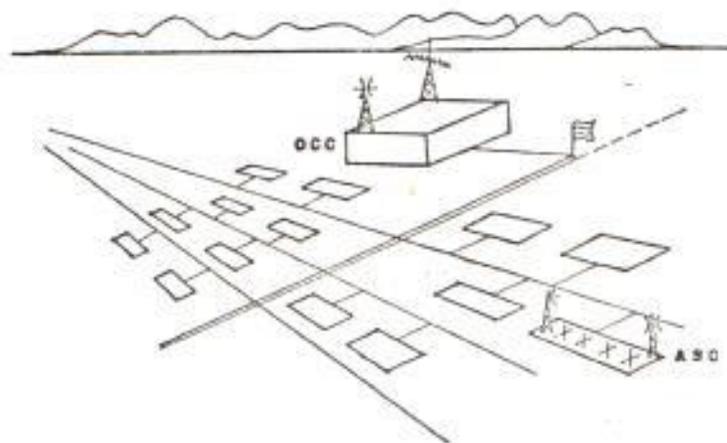


Fig. 4.17 Estructura de la red para telemetría en el complejo de misiles

4.4 COMPONENTES OPTOELECTRONICOS

4.4.1 Fuentes ópticas

Las principales fuentes ópticas, usadas en sistemas de guías de luz, son de dos tipos(Ver Apén.A):

- Diodos LED
- Diodos laser

Las dos fuentes tienen anchos de banda de emisión compatibles con las fibras en uso 50/125 μm ; son capaces de emitir a longitudes de onda de 0.8 a 1.3 μm , y generalmente son moduladas por variacio-

nes de corriente.

Las principales diferencias entre estos dos tipos de fuentes son, el ancho de banda de emisión (40 nm para LED y 1 a 2 nm para el láser) y la potencia de emisión que en el caso del láser es de 12 a 15 dB más, que la emitida por los LED.

4.4.1.1 Diodos LED

En lo que respecta a los diodos LED, dos alternativas diferentes de alta radiancia, se ha desarrollado:

- LED tipo Burrus con superficie de emisión
- LED con emisión lateral y fibras acopladas a travez de lentes.

Estos diodos tienen un ancho de banda de emisión de 30 a 40 nm y potencia de transmisión a la fibra de 40 a 60 uW, estas fuentes, se usaron ampliamente en las primeras plantas (1977 - 1979), permitiendo pasos de repetición entre 4 a 5 Km, con velocidades de transmisión sobre los 34 Mb/s.

La principal limitación en el uso de estas fuentes, está relacionada con el ancho de banda de emisión, el cual, en el caso de transmitir en la primera banda (800-900 nm), produce limitaciones en el rango de aplicación, a una tasa de bit máxima que no exeda los 50 Mb/s.

Normalmente los diodos LED, tienen mejor aplicación en la segunda banda de emisión (1060-1300 nm), ya que en este caso la poca atenuación y dispersión introducida por la fibra permite enlaces a 34 Mb/s sobre los 20 Km, más que suficiente para enlaces punto a punto entre redes centrales y sectoriales.

Estos componentes son interesantes para aplicaciones de gran confiabilidad y mínimo mantenimiento.

4.4.1.2 Diodos laser

Estas fuentes han estado en uso desde comienzos del 78, en plantas experimentales y posteriormente en plantas con tráfico real.

Los láser presentan 0 dBm de potencia óptica transferida a la fibra y anchos de banda de emisión de 0.6 a 2 nm; consecuentemente la dispersión debido al material se reduce considerablemente.

Al igual que los LED, estas fuentes son moduladas, directamente por medio de la corriente que fluye a través del diodo. Los transmisores láser son ampliamente usados en la primera banda, en enlaces sobre los 280 Mb/s.

El promedio de vida de estos dispositivos se ha incrementado desde cientos de horas para los primeros láser en 1977, a decenas de miles de horas en la actualidad, garantizando dispositivos láser con promedios de vida sobre las 200000 horas.

4.4.2 Detectores ópticos

Los detectores ópticos usados en la primera banda son de dos tipos: PIN y APD, estos componentes son de fácil acoplamiento a la fibra óptica. La tabla da la sensibilidad de los receptores ópticos disponibles en el mercado (Ver Apén.A).

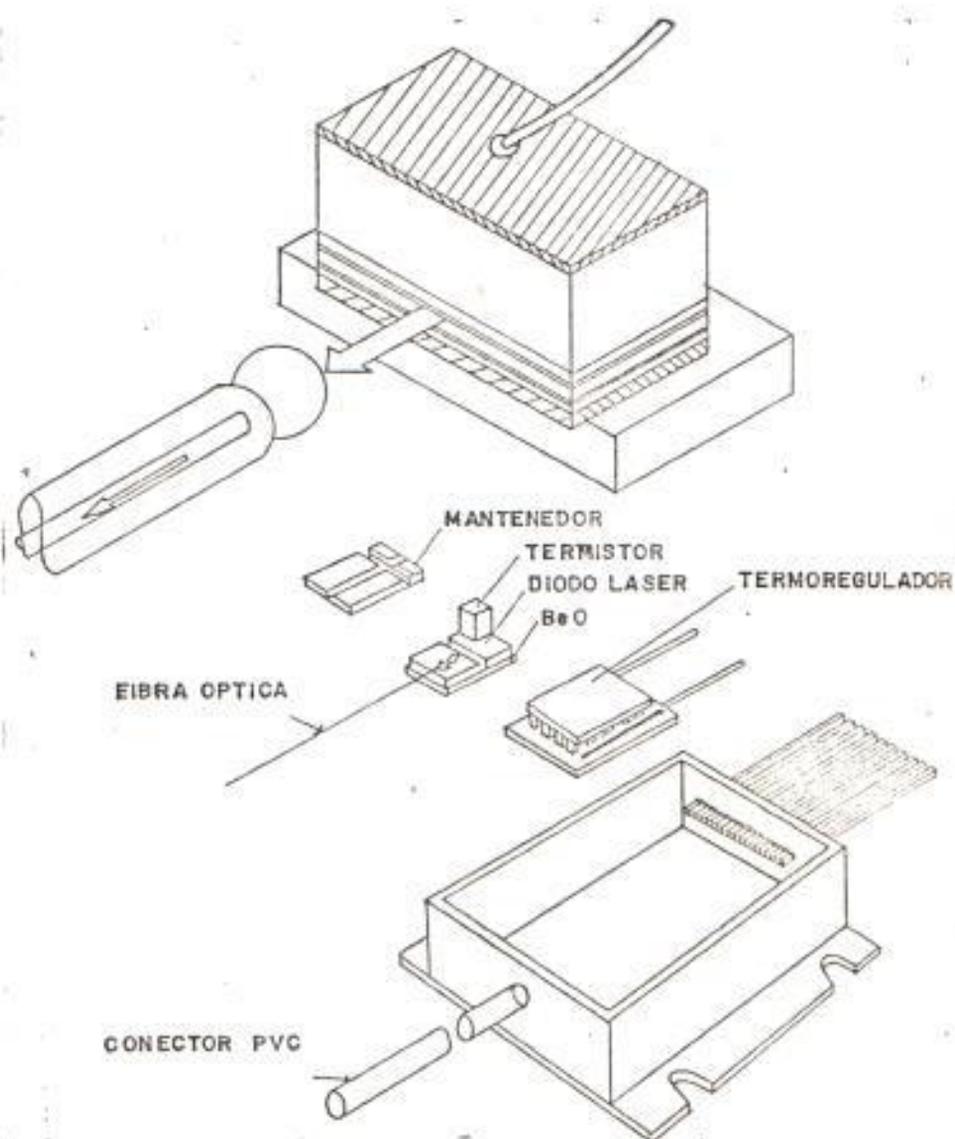


Fig. 4.18 Estructura de un diodo laser y unión con la fibra óptica

El desarrollo de este componente a permitido realizar láser de gran eficiencia, con poca corriente de sostenimiento y largo tiempo de vida. Fig.4.18.

Para aplicaciones en la primera ventana, los APD difieren de los PIN en la sensibilidad (relación señal-ruido), y por la ganancia de estos (una diferencia en la relación señal-ruido de 10 dB mas o menos y en la ganancia de 100 aproximadamente. Además, los receptores con APD requieren de circuitos de polarización más complicados y compensación en térmica.

Los detectores PIN son utilizados en sistemas de corto rango y poca velocidad, en el que los costos de los componentes y la complejidad de los equipos terminales prevalecen en la economía del sistema.

Actualmente, el detector PIN es un elemento esencial para la detección de potencia óptica en la segunda ventana (≈ 1300 nm) en la cual el APD no puede ser utilizado.

En esta banda los detectores son tipo PIN MES-FET, los cuales sirven para mejorar el factor de ruido de los receptores ópticos.

El componente PIN asociado con fuentes láser, en la segunda ventana, permiten enlaces a 140 Mb/s en la segunda banda con pasos de repetición mayores a los 20 Km, usando fibras con atenuación menor a 1

dB/km.

4.4.3 Conectores ópticos

Hay una gran variedad de conectores que son usados en sistemas ópticos, entre los cuales tenemos: Conectores fijos (acoplamiento eléctrico entre fibras) y conectores enchufables para conexión de terminales de cables ópticos (terminales de línea y repetidoras).

4.4.3.1 Conectores fijos (acoplamientos)

En sus inicios los acoplamientos se realizaron haciendo una ranura en forma de V, para la colocación de la fibra y resina epóxica, para su soldadura; obteniéndose pérdidas con éstas uniones de 0.3 a 0.5 dB. Esta técnica fue mejorada, lo que permitió obtener pérdidas entre uniones de 0.2 dB.

Más tarde con el avance de la tecnología, el acoplamiento con soldadura de arco eléctrico o fusión por flama, entro en uso, con lo cual se consigió una atenuación de acoplamiento entre 0.2 y 0.3 dB.

Un acoplamiento de tubería elástica, con característica de atenuación igual a las de fusión se está practicando actualmente, este acoplamiento tiene la ventaja de permitir hacer conexiones completas, sin que el equipo auxiliar sea necesario, teniendo un promedio de atenuación de 0.15 por acoplamiento. La Fig.4.19 ilustra los acoplamientos antes mencionados.

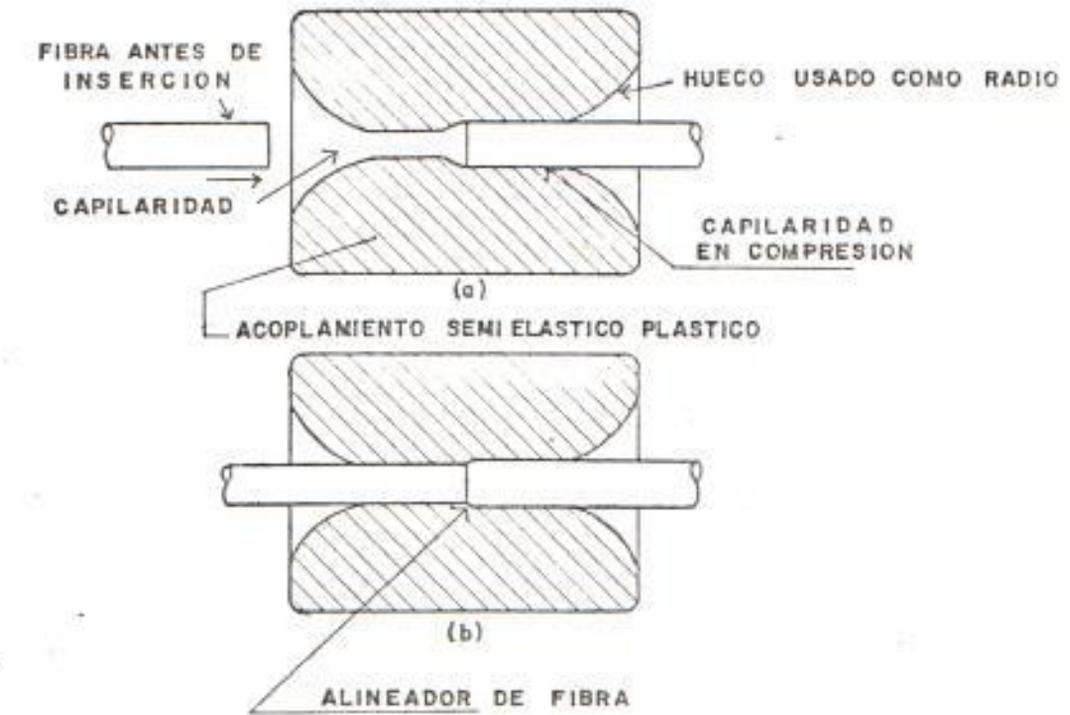
Esta hecho de un tubo pequeño de material semi-elástico, al centro del cual hay un hueco con un diámetro ligeramente menor que, el externo de la fibra a ser aplicada.

La entrada de las fibras se lo realiza por medio de dos huecos, de radio pequeño, situados en los extremos de este tubo, y los fibras a ser acopladas se las sujeta con resina epóxica. Este sistema permite el centrado de las fibras, aún si los diámetros externos son diferentes.

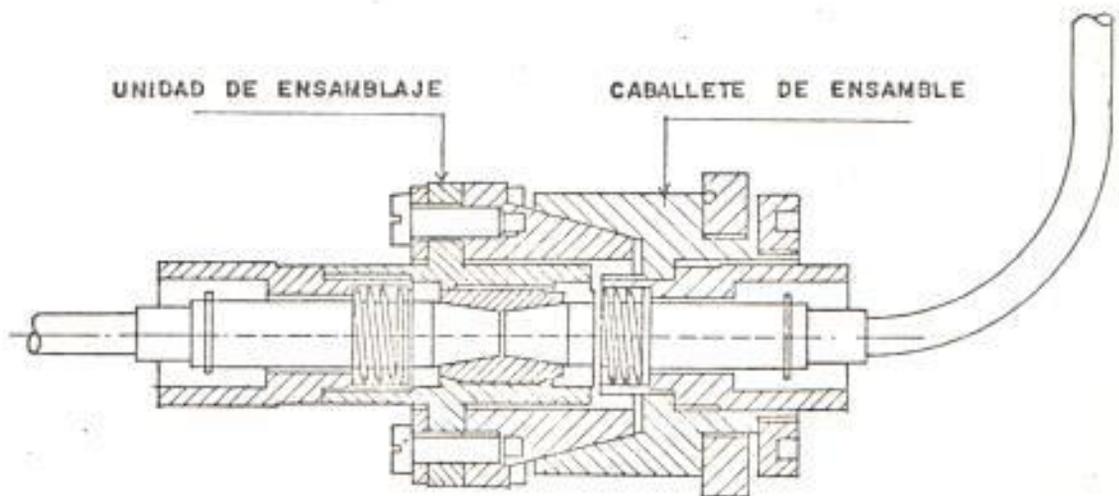
4.4.3.2 Conectores enchufables

Estos conectores pueden subdividirse en

tres grupos principales:



A) ACOPLAMIENTO TUBO PLASTICO



B) CONECTOR OPTICO ENCHUFABLE

Fig. 4.19 Conector óptico de acoplamiento

fijo

- Conectores con acoplamiento mecánico sin flancos de alineación
- Conectores con acoplamiento mecánico usando flancos de alineación
- Conectores con lentes de acoplamiento óptico.

Estos conectores son ampliamente usados en conexiones móviles enchufables a los módulos de transmisión y recepción de las líneas terminales y, para hacer paneles de acoplamiento óptico en el caso de sistemas de transmisión multifibras.

El promedio de atenuación introducida por cada conector, esta entre 0.5 y 1.2 dB, con diferentes distribuciones de tales atenuaciones, dependiendo del tipo y número de operaciones previamente ejecutadas.

4.4.4 Multiplexores - Demultiplexores ópticos

Estos componentes ópticos pasivos estan comunmente disponibles en el mercado en algunas versiones dependiendo del número de entradas y salidas requeridas. Los más comunes son aquellos que permiten la multiplexación de 2 a 4 portadoras.

La distancia entre una portadora óptica y la siguiente depende de la fuente óptica: En el caso de las fuentes con LED, con un ancho de 40 nm, la distancia entre dos fuentes adyacentes debe ser alrededor de 60 nm; en el caso de las fuentes láser la distancia puede ser reducida a 20 o 30 nm, teniendo la componente un ancho espectral de alrededor de 1 a 2 nm.

Los multiplexores y demultiplexores están normalmente fabricados de componentes discretos, tienen pérdidas de inserción típicas de 5 a 6 dB (en el caso de fuentes láser). Además estas pérdidas se incrementan en 3 dB si la fuente es un LED.

Estos componentes están disponibles tanto en la primera como en la segunda banda y en los dos casos el desacoplamiento entre las entradas está dentro de los 20 a 25 dB, valor suficiente para señales codificadas en PCM, fluyendo a través de la fibra en la misma dirección.

En caso de transmisión bidireccional en la misma fibra, este desacoplamiento es insuficiente y se requieren filtros pasa-banda apropiados para obtener el desacople deseado.

CAPITULO V

DISEÑO DEL ENLACE: TORRE EL CARMEN - CENTRAL CENTRO

Ahora que tenemos claros los conceptos generales de como de comportarse un sistema de comunicación digital por cable de fibra óptica, centraremos nuestra atención a la resolución de un problema específico, el cual es: El Sistema Enlace Digital de Larga Distancia entre Torre el Carmen-central Centro. Logicamente, este capítulo analiza directamente el diseño planteado como solución; claro está que al ser caso real, la respuesta no es única y podrían encontrar otras. Pese a ello, el diseño desarrollado en este capítulo es, a nuestro entender, una adecuada guía para desarrollar esta obra.

5.1 ESTUDIO DEL ENLACE DE TRANSMISION CON PROYECCION HACIA EL AÑO 2000

En estos momentos, el sistema nacional de telecomunicaciones, se encuentra dividido en dos regiones; (R1-R2 de las cuales, las centrales de tránsito operan en Quito para la región 1 y en Guayaquil para la región 2. Dichas

entrales de tránsito nacional son enlazadas por una red de microondas analógica, cuyos puntos de repetición están ubicados a lo largo de la cordillera.

5.1.1 Motivos para el nuevo enlace

La capacidad total de canales de comunicación, de los diferentes sistemas de larga distancia, analizados en el capítulo I, es de 7680 canales, los cuales resultan insuficientes actualmente, en vista del aumento de las comunicaciones que utilizan dichas rutas y además que estos sistemas fueron instalados aproximadamente hace 15 años.

Reparemos por un momento en que las "conversaciones" Guayaquil-Quito, Guayaquil-Cuenca, Guayaquil-Peninsula, etc., no son únicamente originadas en las mencionadas ciudades, sino todas las que se establecen entre abonados de la región 1 y abonados de la región 2, más todas aquellas entre abonados de la región 2 y el exterior, ya que la única central internacional se encuentra ubicada en Quito. Súmase a lo anterior que no son todos los 7680 canales en servicio los que pueden hacerse cargo de las "conversaciones" descritas, las cuales por su naturaleza aleatoria son resultado de las necesidades de comunicación de todo un conglo-

merado en un instante dado. De hecho también existe demanda de canales privados, dentro del sistema de IETEL, como se da en el caso de redes bancarias. Según información obtenida en la oficina de Planificación de IETEL R-2, la demanda de canales privados sufre un acelerado aumento y como se puede ver, resta mucho más capacidad al Sistema que cualquier "conversación". En pocas palabras, el sistema actual es ya insuficiente y lo será más en el futuro, como veremos.

Así como la empresa privada, al instalar sistemas interconectados de computadoras, aumenta la demanda de canales, la administración de IETEL ha puesto en marcha trabajos de ampliación en la capacidad de comunicación de las diferentes centrales existentes en las diferentes ciudades del país, así como también la construcción de nuevas centrales locales, además de la incorporación de nuevas poblaciones al servicio telefónico; por lo tanto se ha puesto en marcha la ampliación de la capacidad de canales en los diferentes sistemas de larga distancia nacional.

Hasta el momento nos hemos contestado una pregunta, ¿Porqué el nuevo enlace?. No obstante queda por aclarar una segunda; ¿Porqué digital?. Ciertamente

es que en el primer capítulo y con mayor énfasis en la sección 1.4, ya se analizaron las razones generales para un favoritismo hacia un sistema de comunicación digital, pero más allá de la pura teoría, recordemos que tanto las nuevas centrales instaladas o por instalarse, así como las ampliaciones logradas en las centrales de tránsito de Quito y Guayaquil, junto con la central de tránsito de Cuenca, son todas de tecnología digital. No resulta pues una novelería el inclinarse por un sistema de enlace digital, sino la continuación de una tendencia tecnológica que se ha impuesto ya en el mundo y que nuestro país ha acogido. Cabe mencionar también que el IETEL actualmente se encuentra empeñado en la implementación de sistemas de comunicación digital por microondas para la red de larga distancia nacional, con el fin de satisfacer la creciente demanda de canales de servicio en la red nacional; con estos sistemas digitales también se aprovecharía al máximo las capacidades de señalización de las centrales digitales.

5.1.2 Justificativos de tráfico

De la información indicada en el primer capítulo, numeral 1.3; sobre la situación actual del enlace Torre el Carmen-central Centro, este se encuentra

dividido en seis Sistemas o Redes, con lo cual se cubren las diferentes zonas y poblaciones que pertenecen a la región 2. Estos sistemas son los que se indican a continuación:

Sistema Guayaquil-Quito

Sistema Guayaquil-Cuenca

Sistema Guayas-Los Rios

Sistema Guayaquil-Machala-Loja

Sistema Guayaquil-Manta-Portoviejo

Sistema Guayaquil-Animas-Salinas

A partir de los datos de tráfico y capacidad de canales para larga distancia nacional, que se disponen para el año 1988 (datos suministrados por IETEL), y del Plan de Desarrollo de las Telecomunicaciones (Documento SGP-88-015), se hace la proyección de la necesidad de canales telefónicos para el enlace de transmisión entre la Torre el Carmen y la central Centro, con proyección hacia el año 2000, con lo cual se podrá satisfacer la demanda de tráfico presente y futuro (aproximadamente 12 años).

Esta proyección también está basada en el estudio de la demanda que, con horizonte al año 2010 fue presentado por la Subgerencia de Planificación en

Noviembre de 1987, (Documento SGP-87-06/12), en este documento se define la capacidad de las centrales que se deben adquirir en 1989, 1990, 1991 y 1992, con el fin de cubrir la demanda hasta el año 1997 y en el número de habitantes del Ecuador para ese año; realizado en el documento mencionado en el párrafo anterior (Ver tabla 5.1).

En el documento mencionado anteriormente se han tomado en consideración los siguientes puntos:

- Ampliación de centrales existentes o contratadas y adquisición de nuevas centrales dependiendo de las necesidades de las diferentes localidades que se incorporen al servicio telefónico.
- Incorporación de 96 poblaciones al servicio automático.
- Nuevas líneas a adquirirse hasta 1997 454050
- Nuevas líneas Región 1 196500
- Nuevas líneas Región 2 257550
- Total líneas de central 1283300
- Máximo número de abonados 1156770
- Habitantes del Ecuador 12953981
- Abonados/100 habitantes (Máximo) 8.9 %

A continuación se indica una tabla con un resumen nacional del estudio de la demanda y el número de

líneas a adquirirse por año.

RESUMEN NACIONAL

ANO	ABONADO	POBLACION	DENSIDAD
1987	330356	9922514	3.33
1988	380353	10203722	3.73
1989	435356	10490249	4.15
1990	495856	10781613	4.60
1991	562406	11078397	5.08
1992	635611	11380922	5.58
1993	716137	11688314	6.13
1994	804715	11999701	6.71
1995	902151	12314210	7.33
1996	1009330	12632109	7.99
1997	1127227	12953981	8.70

LINEAS A ADQUIRIRSE POR AÑO

1988	154700
1989	81300
1990	77550
1991	96550

5.1.3 Cálculo de tráfico y circuitos de larga distancia

TABLA 5.1

PLAN DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES 1988 - 1992

	ESTIMACION AL 31-12-87 CENTRAL	ABONADOS	LINEAS CONTRATADAS	LINEAS EN PROYECTO	CAPACIDAD FINAL	REQUERIMIENTO DE LINEAS HASTA 1992
REGION 1						
CARCHI	3000	2861	800	4400	8000	2450
IMBABURA	6800	4819	1250	3500	11450	6700
PICHINCHA	185350	138443	30650	128500	329350	137200
ESMERALDA	5100	4491	1800	10000	18600	14700
COTOPAXI	4400	3232	800	7000	9000	800
TUNGURAHU	11500	10610	750	10150	21900	7000
CHIMBORAZ	6350	8032	11650	10000	21700	1350
BOLIVAR	2650	2307	300	1500	4450	1150
PASTAZA	800	395	300	1000	1250	1800
NARO	1100	547	1700	2000	4600	3550
TOTAL R-1	228850	172957	49600	178050	428500	178500
REGION 2						
MANABI	14800	12948	5650	19500	39250	30750
GUAYAS	175450	175450	7000	197300	378850	149400
LOS RIOS	5900	4100	11900	6950	20200	20350
EL ORO	8200	5517	2250	17200	28050	18100
CANAR	2350	1341	300	2000	4300	3350
AZUAY	800	523	550	1050	2150	3200
LOJA	4900	4495	2900	10000	16900	8200
MOR. SANT.	300	283	1000	700	1700	1700
ZAM. CHIPE	200	194	800	0	700	2800
GALAPAGOS	200	50	500	800	1300	100
TOTAL R-2	212900	157399	32850	255500	491400	237750
TOTAL PAIS	439950	330356	82450	433550	917900	414250

Tomando como base el cálculo de tráfico y circuitos de larga distancia, para la situación prevista a Diciembre de 1988 (datos ofrecidos por IETEL), ver tabla 5.2; se realizó la proyección para calcular el número de canales que cubran las necesidades de tráfico hasta el año 2000, el cual se encuentra dividido de acuerdo a los diferentes sistemas mencionados en el numeral 5.1.2.

En la tabla 5.3, se indican los resultados de la proyección del tráfico y número de circuitos de larga distancia, para el año motivo de este análisis, en el cual se han tomado en consideración los siguientes puntos: La ampliación de la capacidad de las diferentes centrales existentes y por instalar, la congestión de tráfico que presentan actualmente las diferentes rutas de larga distancia, se ha asumido que el tráfico telefónico es mas o menos constante (facilidad de cálculo) lo cual, en la realidad no es así ya que este es impredecible dentro de un pequeño intervalo de tiempo, y para el calculo del número de circuitos se ha considerado una probabilidad de pérdida del 1 %.

5.2 DESCRIPCION DEL DISEÑO

En la Fig. 5.1, se presenta a manera de un diagrama de

TABLA 5.2

CALCULO DE TRAFICO Y CIRCUITOS DE LARGA DISTANCIA NACIONAL A DICIEMBRE DE 1981
(TOMADO DE IETEL)

SISTEMA GUAYAQUIL-QUITO

PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTAL
PTD	10000	32.66	34.72	44	46	90
GLL	10000	31.24	34.72	43	46	89
VF1	10000	32.66	34.72	44	46	90
VF2	5000	15.62	17.36	24	27	51
QC1	10000	42.6	45.29	55	56	111
QC2	10000	38.34	45.29	50	56	106
QC3	4000	17.75	18.12	27	27	54
QC4	6000	29.82	27.16	41	36	77
MS7	5000	16.33	21.69	25	32	57
MS1	10000	49.7	67.18	63	82	145
MS2	10000	49.7	67.94	63	83	146
MS3	10000	49.7	67.94	63	83	146
MS4	5000	24.14	37.74	34	50	84
MS5	15000	79.52	120.78	95	139	234
IQ1	10000	51.12	60.39	65	75	140
IQ2	10000	48.99	60.39	62	75	137
IQ3	20000	99.4	120.78	116	139	255
LLZ	10000	47.57	60.39	61	75	136
AN0	10000	31.24	40.76	43	53	96
C.C.	10000	31.24	40.76	43	53	96
QTN	5000	15.62	20.38	24	30	54
QRL	10000	31.24	40.76	43	53	96
TOTAL						2496

SISTEMA GUAYAQUIL-CUENCA

PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTALES
CUENCA 1	9000	67.31	73.02	82	86	170
CUENCA 2	1000	12.22	11.65	20	19	39
CUENCA 3	6500	67.31	73.02	82	86	170
TOTORC. 1	3000	33.91	34.94	46	47	93
TOTORC. 2	3000	33.91	34.94	46	47	93
EL EJI 1	3000	33.91	34.94	46	47	93
EL EJI 2	3000	33.91	34.94	46	47	93
AZOGUEZ	2000	15.6	15.63	24	24	48
CANAS	1000	8.15	7.76	15	14	29
MACAS	600	4.99	4.58	11	10	21
GUALACEO	300	2.84	1.87	7	6	13
PAUTE	250	2.26	1.27	6	5	11
SIG SIG	250	2.26	1.27	6	5	11
BIBLIAN	200	1.27	1.06	5	4	9
GIRON	200	2.07	1.06	6	4	10
SUCUA	200	2.07	1.06	6	4	10
MENDES	200	2.07	1.06	6	4	10
EL TAMBO	100	0.63	0.49	4	3	7
STA ISABEL	100	1.07	0.63	5	4	9
GUALAQUIZA	100	0.71	0.42	4	3	7
GRAL PLAZA	100	0.71	0.42	4	3	7
PALORA	100	0.71	0.42	4	3	7
TOTAL						960

SISTEMA GUAYAQUIL-MACHALA-LOJA PROBABILIDAD DE PERDIDA DE 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTE	NUM.CIRC. TOTALES
MACHALA 1	5000	62.66	66.59	77	81	158
MACHALA 2	10000	154.99	139.79	174	157	331
PASAJE	3100	15.5	15.24	24	24	48
STA ROSA	2000	15.66	15.63	24	24	48
HUAQUILLAS	2000	15.66	15.63	24	24	48
PINAS	1000	8.18	7.76	15	14	29
ZARUNA	1000	8.18	7.76	15	14	29
ARENILLAS	600	3.37	2.98	6	6	12
EL GUABO	250	2.27	1.27	7	5	12
PORTOVELO	200	1.27	1.06	5	4	9
LOJA 1	5000	63.97	66.59	78	81	159
LOJA 2	7000	81.66	73.98	97	89	186
LA TONA	1000	10.43	9.71	16	17	33
CARIAMANGA	1000	10.43	9.71	16	17	33
MACARA	1000	10.43	9.71	16	17	33
ZAMORA	600	8.35	7.76	15	14	29
CATACDOCHA	600	6.39	5.72	13	12	25
CELICA	400	3.44	2.98	9	8	17
GONZANAMA	150	1.31	0.97	5	4	9
MALACATUS	150	1.31	0.97	5	4	9
SARAGURO	150	1.31	0.97	5	4	9
SAPOTILLO	150	1.31	0.97	5	4	9
ALAMOR	100	1.09	0.63	4	3	7
VILCABAMBA	100	1.09	0.63	4	3	7
ZUMBA	100	0.73	0.42	4	3	7
ZOZORANGA	100	1.09	0.63	4	3	7
TOTAL						1313

SISTEMA GUAYAS-LOS RIOS

PROBABILIDAD DE PERDIDA 55

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTE	NUM.CIRC. ENTRANTE	NUM.CIRC. TOTALES
GUARANDA	2000	29.84	29.25	41	40	81
ECHANDIA	150	1.48	0.85	5	4	9
CHILLANES	150	1.11	0.63	5	34	39
MILAGRO 1	3000	23.5	23.3	34	33	77
MILAGRO 2	5000	39.75	27.5	50	25	75
DALLE	2400	16.96	16.41	26	12	38
BALZAR	1000	6.35	5.82	13	12	25
EL TRIUNFO	1000	6.35	5.82	13	12	25
EL EMPALME	1000	6.35	5.82	13	8	21
NARANJITO	600	3.85	3.43	9	6	15
M. MARIQUENA	600	2.62	2.24	7	6	13
BUCAV	400	2.62	2.24	7	5	12
P. CARSO	300	1.97	1.25	6	5	11
NARANJAL	250	4.2	2.35	7	4	11
YABUACHI	200	0.85	0.71	4	4	8
SAMBORONDON	200	1.44	0.7	5	4	9
PICHINCHA	200	1.32	1.06	5	5	10
J. AYORA	150	0.85	0.64	4	3	7
L. DE SARSEN	150	0.85	0.64	4	3	7
PUNA	150	0.85	0.64	4	3	7
STA LUCIA	150	0.85	0.64	4	3	7
SALITRE	100	0.63	0.42	3	3	6
PALESTINA	100	0.63	0.42	3	3	6
C. DE BALZAR	100	0.74	0.42	4	3	7
TENQUEL	100	0.74	0.42	4	3	7
QUEVEDO	10000	75.85	64.12	91	100	191
BABAHOYO	5100	40.71	35.94	53	46	101
VINCES	1000	8.47	7.76	15	14	29
VENTANAS	1000	6.35	5.82	13	12	25
CATARAMA	1000	6.35	5.82	13	12	25
PUEBLOVIEJO	400	2.62	2.24	7	6	13
MOCACHE	200	1.14	0.85	5	4	9
BUENA FE	200	1.44	0.7	5	4	9
VALENCIA	150	0.85	0.64	4	3	7
PALENQUE	100	1.48	0.85	5	4	9
BABA	100	0.74	0.42	4	3	7
MONTALVO	100	0.74	0.42	4	3	7
LA TRONCAL	1000	6.35	5.82	13	12	25
TOTAL						960

SISTEMA GUAYAQUIL-ANIMAS-SALINAS PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTES	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SSALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTALES
SALINAS 1	3000	20.56	20.38	30	30	60
SALINAS 2	5000	32.1	28.16	44	39	83
LA LIB. 1	2000	12.16	11.72	20	20	40
LA LIB. 2	5000	20.25	20.29	30	30	60
PLAYAS	1300	6.35	5.82	13	12	25
POSDORJA	600	3.89	3.43	9	8	17
TOTAL						285

SISTEMA GUAYAQUIL-MANTA-PORTOVIEJO PROBABILIDAD DE PERDIDA DE 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM. CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTAL
MANTA 1	5000	53.66	57.08	67	71	138
MANTA 2	8600	93.57	95.41	110	112	222
PORTVJO 1	5000	53.66	57.08	67	71	138
PORTVJO 2	8100	90.61	60.49	107	96	203
CHONE	3000	39.66	40.77	50	53	103
BAHIA	2000	21.37	27.35	38	38	76
JIRIJARA	2300	15.64	15.63	24	24	48
CALCETA	1000	8.17	7.76	15	14	29
ROCAFUERTE	250	2.26	1.27	6	5	11
TOSAGUA	250	2.26	1.27	6	5	11
SAN VICENTE	200	1.27	1.06	5	4	9
JUNIN	200	1.27	1.06	5	4	9
STA ANA	200	1.65	1.27	6	5	11
SUCRE	200	1.65	1.27	6	5	11
PICHINCHA	200	1.65	1.27	6	5	11
PAJAN	200	2.84	1.87	7	6	13
JANA	200	1.65	1.06	5	4	9
CHARAPOTO	150	1.26	0.97	5	4	9
PTO LOPEZ	100	1.07	0.63	4	3	7
TOTAL						1070

TABLA 5.3

CALCULO DE TRAFICO Y CIRCUITOS DE LARGA DISTANCIA NACIONAL PARA LA SITUACION
PREVISTA HACIA EL AÑO 2000

SISTEMA GUAYAQUIL-QUITO		PROBABILIDAD DE PERDIDA 11				
NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABOYADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTAL
PT1	20000	122.95	130.71	141	149	290
BL	10000	60.09	66.75	74	81	155
VF1	10000	71.72	76.24	87	92	179
VF2	15000	75.12	83.45	91	99	190
QC1	10000	71.72	73.25	87	92	179
QC2	10000	67.9	80.21	83	95	178
QC3	4000	29.28	29.85	40	41	81
QC4	6000	49.04	44.69	62	57	119
MAJ	5000	54.3	72.78	68	88	156
MS1	10000	63.05	85.22	75	101	176
MS2	10000	62.65	85.64	77	102	179
MS3	10000	62.65	85.64	77	102	179
MS4	10000	33.09	51.74	45	65	110
MS5	20000	151.53	230.15	171	252	423
IQ1	10000	67.9	80.21	83	104	187
IQ2	10000	56.85	70.11	71	85	156
IQ3	20000	152.87	185.75	172	206	378
LL2	15000	97.95	124.35	115	142	257
ANO	10000	55.13	71.95	69	87	156
C.C.	20000	110.26	143.85	128	162	290
QTN	10000	55.13	71.92	69	87	156
CR	15250	106.121	138.46	123	157	280
TOTAL						4458

SISTEMA GUAYAQUIL-CUENCA

PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTALES
CUENCA 1	20000	184.77	200.45	205	221	426
CUENCA 2	20000	282.29	269.14	305	292	597
CUENCA 3	20000	242.74	263.34	265	286	551
TOTORC. 1	7000	92.44	95.25	109	112	221
TOTORC. 2	7000	92.44	95.25	109	112	221
EL EJI 1	5000	66.03	68.04	81	83	164
EL EJI 2	5000	66.03	68.04	81	83	164
AZOGUEZ	3000	27.62	27.68	39	38	76
CANAR	2000	19.18	18.26	29	26	57
MACAS	1300	12.69	11.65	21	20	41
GUALACEO	1300	14.06	9.26	23	17	40
PAUTE	600	6.36	3.57	13	7	21
SIG SIG	400	4.24	2.38	10	7	17
BIBLIAN	350	2.67	2.23	7	6	13
GIRON	300	3.56	1.82	9	6	15
SUCJA	700	6.31	4.25	15	10	25
MENDEI	200	2.37	1.21	7	5	12
EL TAMBO	200	1.51	1.16	6	5	11
STA ISABEL	250	3.04	1.79	6	6	14
GUALAQUIZA	400	3.24	1.92	8	6	14
GRAL PLAZA	350	2.84	1.68	7	6	13
PALORA	200	1.62	0.96	6	4	10
TOTAL						2724

SISTEMA GUAYAQUIL-MACHALA-LOJA PROBABILIDAD DE PERDIDA DE 11

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTE	NUM.CIRC. TOTALES
MACHALA 1	5000	72.42	76.96	87	92	179
MACHALA 2	20000	354.74	317.66	379	341	720
PASAJE	4900	31.35	30.52	43	42	85
STA ROSA	4000	36.95	36.88	49	49	98
HUAQUILLAS	4000	36.95	36.88	49	49	98
PIÑAS	1500	14.43	13.66	23	22	45
ZARUMBA	1000	9.62	9.12	17	16	33
ARENILLAS	1600	11.52	10.17	19	18	37
EL GUABO	750	7.96	4.47	15	10	25
PORTOVELO	300	2.26	1.91	7	6	13
LOJA 1	5000	74.63	77.69	90	93	183
LOJA 2	12000	165.67	150.09	169	169	338
LA TOMA	2000	24.2	22.53	35	33	68
CARIAMANGA	1500	16.15	16.89	27	28	55
MACARA	1500	16.15	16.89	27	28	55
ZAMORA	2000	26.62	26.59	40	37	77
CATACÓCHA	800	10.09	6.96	17	16	33
CELICA	500	5.06	4.38	11	10	21
GONZANAMA	200	2.03	1.51	6	5	11
MALACATUS	150	1.52	1.12	5	5	10
SARAGURO	200	2.03	1.51	6	5	11
SAPOTILLO	250	2.54	1.87	7	6	13
ALAMOR	300	3.71	2.14	9	6	15
VILCABAMBA	150	1.85	1.07	6	4	10
ZUMBA	400	3.37	1.94	6	6	14
ZOZORANGA	100	1.23	0.72	5	4	9
TOTAL						2268

SISTEMA GUAYAS-LOS RIOS

PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTE	NUM.CIRC. ENTRANTE	NUM.CIRC. TOTALES
GUARANDA	3500	48.67	47.64	61	120	183
ECHEANDIA	250	4.53	2.87	5	13	18
CHILLANES	300	2.94	1.68	5	10	17
MILAGRO 1	300	28.55	28.35	39	79	118
MILAGRO 2	10250	97.57	67.64	62	196	278
DALLE	3800	33.64	32.74	44	89	133
BALZAR	2500	20.04	18.34	28	58	86
EL TRIUNFO	1300	10.40	9.54	17	35	52
EL EMPALME	3000	24.04	22.04	30	66	96
NARANJITO	1000	8.16	7.21	14	29	43
M. MARIQUENA	600	3.44	2.94	8	16	24
BUCAV	400	3.32	2.83	7	15	22
P. CARBO	650	5.82	3.68	9	21	30
NARANJAL	1600	11.05	8.67	16	41	57
YABUACHI	1200	6.27	5.06	11	23	34
SAMBORONDON	600	3.06	2.43	7	16	23
PICHINCHA	200	1.57	1.22	5	10	15
I. AYORA	250	1.74	1.25	5	11	16
L. DE SARSEN	300	2.09	1.55	5	11	16
POMA	250	1.74	1.25	5	11	16
STA LUCIA	250	1.74	1.25	5	11	16
SALITRE	600	4.78	2.95	8	19	27
PALESTINA	600	4.78	2.95	8	19	27
C. DE BALZAR	200	1.71	0.97	4	10	14
TENGUEL	350	2.98	1.69	6	14	20
QUEVEDO	20000	191.64	217.53	234	446	680
BARAHYO	11000	110.99	97.99	115	243	358
VINCES	2000	20.12	18.43	26	58	86
VENTANAS	3000	22.93	21.02	31	64	95
CATARAMA	1000	7.64	7.08	14	28	42
PUEBLOVIEJO	700	5.44	4.65	10	21	31
MOCACHE	300	2.01	1.49	5	11	16
BUENA FE	700	5.83	2.83	8	20	28
VALENCIA	600	4.18	3.01	8	18	26
PALENQUE	200	3.17	1.82	6	14	20
BABA	200	1.71	0.97	4	10	14
MONTALVO	300	2.56	1.49	5	12	17
LA TRONCAL	2000	15.28	14.02	23	47	70

TOTAL

2889

SISTEMA GUYAQUIL-ANIMAS-SALINAS PROBABILIDAD DE PERDIDA 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTES	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM.CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTALES
SALINAS 1	3000	25.96	25.74	37	36	73
SALINAS 2	15100	117.39	103.65	135	120	255
LA LIB. 1	2000	15.64	15.07	24	24	48
LA LIB. 2	17600	93.47	93.63	110	110	220
PLAYAS	1800	13.31	12.21	22	20	42
POBORJA	1000	6.16	7.2	15	14	29
TOTAL						667

SISTEMA GUYAQUIL-MANTA-PORTOVIJO PROBABILIDAD DE PERDIDA DE 1%

NOMBRE DE LA CENTRAL	NUMERO DE ABONADOS	TRAFICO SALIENTE	TRAFICO ENTRANTE	NUM.CIRC. SALIENTES	NUM. CIRC. ENTRANTES	NUM.CIRC. TOTAL
MANTA 1	5000	64.07	68.19	79	85	164
MANTA 2	18000	243.29	248.07	265	270	535
PORTVJO 1	5000	64.09	68.18	79	83	162
PORTVJO 2	20000	264.29	234.77	287	257	544
CHONE	5000	76.71	76.85	92	94	186
BAHIA	2500	39.42	39.39	52	51	104
JIPIJAPA	3300	28.55	28.53	39	39	78
CALCETA	1500	14.41	13.69	23	22	45
ROCAFUERTE	950	10.07	5.66	16	12	30
TOSAGUA	600	6.36	3.57	13	9	22
SAN VICENTE	300	2.29	1.91	7	6	13
JUNIN	400	3.05	2.54	8	7	15
STA ANA	600	5.77	4.43	12	10	22
SUCRE	600	5.77	4.43	12	10	22
PICHINGA	600	5.77	4.43	12	10	22
PAJAN	700	5.7	3.75	12	9	21
JAMA	250	2.42	1.55	7	6	13
CHARAPOTO	200	1.96	1.48	6	5	11
PTO LOPEZ	200	2.43	1.43	7	5	12
TOTAL						2019

bloques general el enlace torre el Carmen-central Centro, propuesto en el presente trabajo:

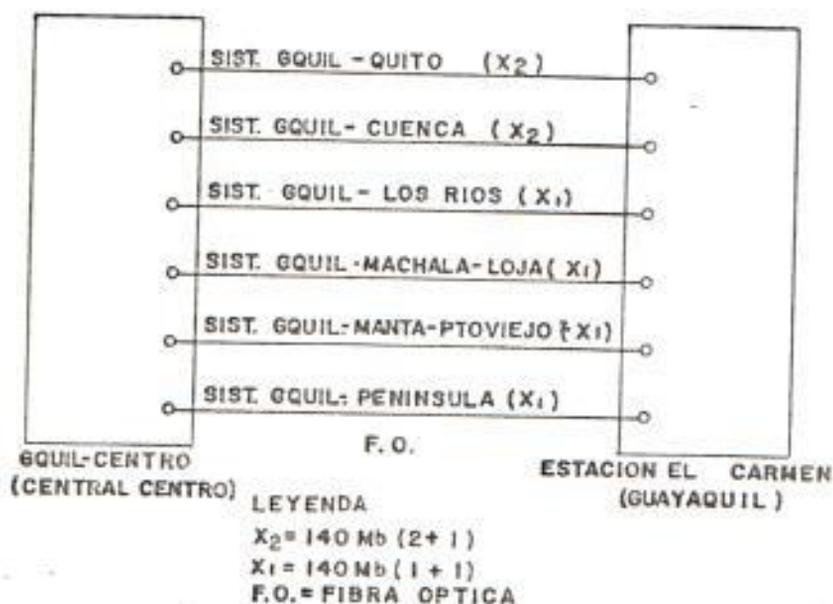


Fig. 5.1 Diagrama de bloques del enlace Torre el Carmen central Centro

En la Fig. 5.2 se presenta un diagrama de bloques del sistema de transmisión digital por fibras ópticas, para los diferentes sistemas indicados en la Fig. 5.1; lógicamente cada uno de estos sistemas difieren en su configuración dependiendo del número de canales asignados a cada ruta; en consecuencia la configuración de cada tramo será de $N+1$: N sistemas principales de servicio y uno de reserva, como se explica en la leyenda de la Fig. 5.1.

1 = Central telefónica (central Centro)

2 = Equipo multiplexor

- 3 = Equipo terminal de línea
 4 = Caja terminal
 5 = Cable de fibra óptica
 6 = Equipo de radio en la estación Torre el Carmen



Fig. 5.2 Diagrama de bloques del sistema usando fibra óptica.

Este diagrama de bloques corresponde al tramo comprendido desde la central Centro hasta la estación del cerro del Carmen, que es donde se centra el análisis para realizar el enlace fibro-óptico.

5.2.1 Descripción de cada uno de los bloques del sistema

Equipo Multiplexor

El equipo multiplexor depende del nivel jerárquico de transmisión PCM que se desea realizar, para nuestro caso es de 140 Mb/s, esto es lo mismo que decir 1920 canales telefónicos.

En nuestro caso se utilizarán multiplexores digitales de alto orden, tal como el Mux 2/34 y el Mux

34/140. En el caso del Mux 2/34 se lo llama de esa manera ya que este equipo multiplexa directamente la interfase de 2 Mb/s a una interfase de 34 Mb/s, y no es posible conexión alguna a un nivel de 8 Mb/s. Con esto lo que se consigue es una reducción del espacio, potencia y principalmente en lo económico.

En este tipo de multiplexor, un total de 16 tributarios de 2 Mb/s, correspondientes a 30 canales telefónicos cada uno, son multiplexados a un flujo de 34 Mb/s correspondiente a 480 canales.

En el caso del Multiplexor 34/140, acepta un flujo de 4 tributarios de 34 Mb/s, correspondiente a 480 canales, los cuales son multiplexados a un flujo de 140 Mb/s, correspondientes a 1920 canales telefónicos (ver Fig 5.3).

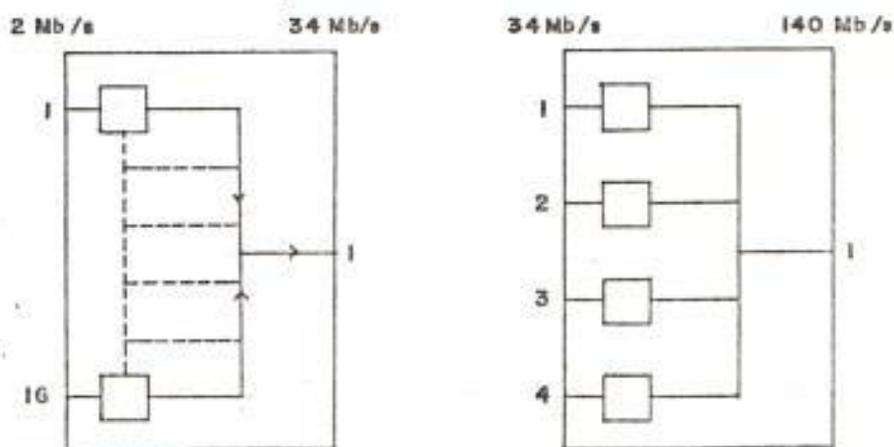


Fig. 5.3 Diagrama de bloques de multiplexores de 2/34 y 34/140 Mb/s

Equipo Terminal de Línea

A la salida de los multiplexores se tiene una señal eléctrica que se está transmitiendo a una velocidad que depende del tipo de multiplexor utilizado, pero ésta señal necesita ser transformada en una señal óptica, para que pueda ser transmitida por medio de un cable de fibra óptica.

En nuestro diseño se utiliza un equipo terminal de línea que transmite 140 Mb/s (139264 Mb/s) correspondientes a 1920 canales, está destinado a transmisión digital por un cable de fibra óptica. Este sistema emplea un diodo Laser como fuente luminosa y un Fotodiodo de Avalancha como detector; como medio de transmisión emplea un cable de fibra óptica de baja atenuación.

Para la línea de A.F. de 140 Mb/s que aquí tratamos se usa el interfaz especificado por la Rec. G.703.9 del CCITT, que aquí se denomina D4. A esta interfaz se puede conectar un multiplexor de 34/140 Mb/s o un radio enlace digital.

Las principales funciones del equipo de terminación de línea de acuerdo con la Fig. 5.4, son:

- Adaptar la señal en los sentidos de emisión y recepción entre el interfaz normalizado por el CCITT (D4) para 140 Mb/s y el interfaz fibro-óptico (F4).
- Detectar alarmas

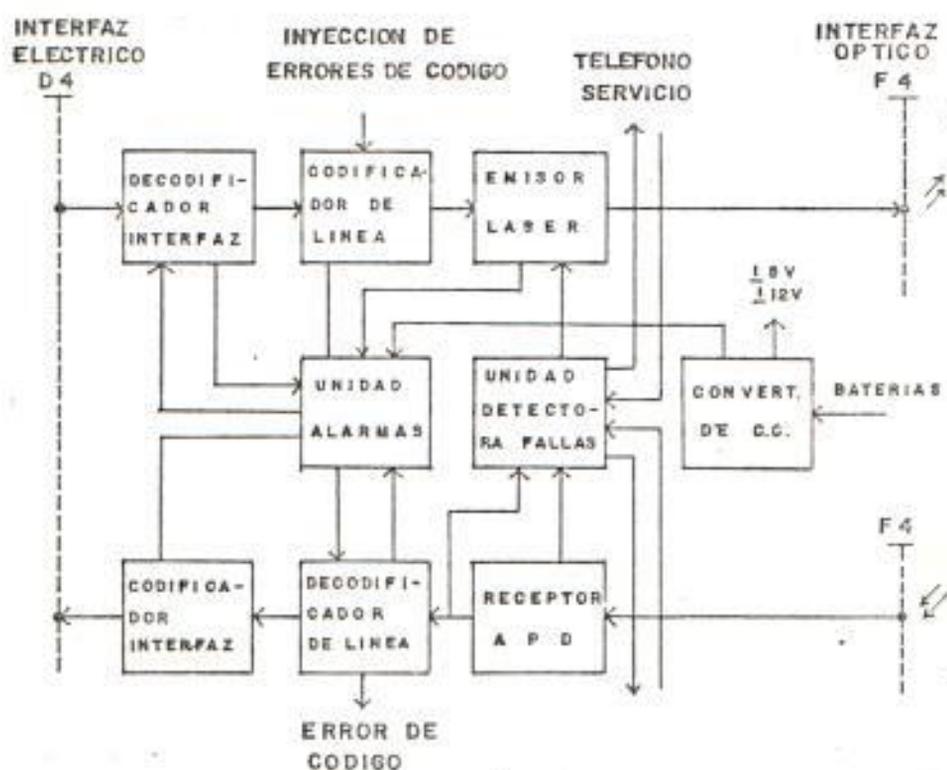


Fig. 5.4 Esquema de bloques del almacén de terminación de línea

Caja Terminal

El cable de línea es terminado en una caja, que normalmente se la coloca en la parte superior del armario, donde va instalado el equipo terminal de

línea.

Aquí, las fibras son distribuidas a los diferentes sistemas; la caja terminal puede terminar en uno o dos cables, con un total de 12 fibras y ocho pares metálicos.

En el interior de la caja se realiza el empalme de las fibras que van a las unidades de transmisión y recepción del sistema en cuestión, con el cable de fibra óptica que se usa para interiores.

Para nuestros sistemas, se necesita solamente una caja terminal con un cable con capacidad para 18 fibras, de las cuales se utilizaran 12 ya que tenemos seis sistemas (dos fibras por sistema), quedándonos seis fibras de reserva.

Equipo de radio

El equipo de radio se ubica en la estación del cerro del Carmen, este recibe la información de los multiplexores de sus respectivos sistemas y los transmite hacia las diferentes rutas de la red de radio para larga distancia.

En cuanto a las características del equipo de ra-

dio, para este estudio, no es tan importante; ya que el mismo ha sido orientado al cambio del medio de transmisión (cable coaxial) por cable de fibra óptica, y a los equipos que se necesitan para tal efecto.

Sin embargo, este diseño está orientado, tomando en consideración que el IETEL, actualmente está empeñado en la instalación de sistemas de radio enlace digital para las diferentes redes de larga distancia, a cargo de la compañía de telecomunicaciones GTE; sistemas que entraran en funcionamiento a mediados o fines del año 1989, y este sería el medio más natural para conectarse a la fibra óptica.

5.2.2 Utilización de repetidores ópticos

La longitud del tramo comprendido entre la central centro y la estación Torre el Carmen es de 2500 Mt. Para determinar si en este tramo es necesario la utilización de repetidores ópticos, se realiza previamente un estudio de la atenuación en la transmisión, la cual es la atenuación total (en dB) entre las dos interfases del sistema.

La Fig. 5.5 nos ilustra las pérdidas que se toma-

ran en cuenta para el diseño del enlace fibro-óptico entre Guayaquil centro y la estación Torre del Carmen (Guayaquil).

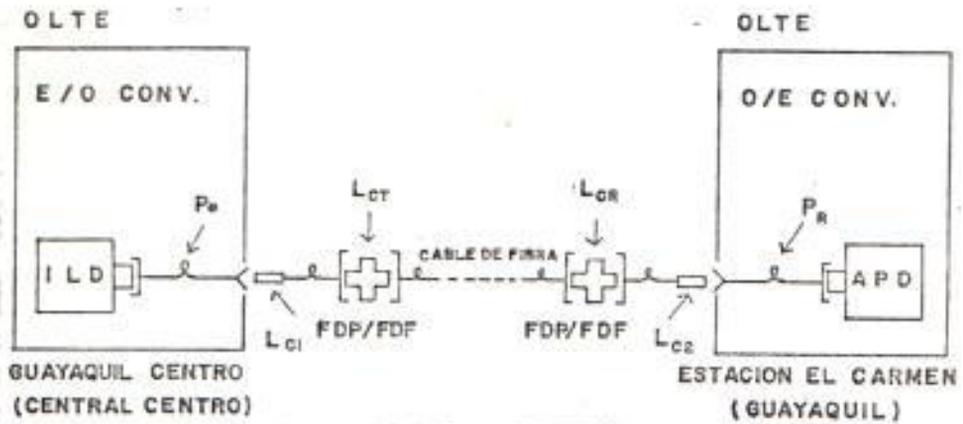


Fig. 5.5 Definición de las pérdidas en el sistema

OLTE = Equipo Terminal de Línea Óptica

E/O CONV = Convertidor Electro-óptico

O/E CONV = Convertidor Opto-eléctrico

ILD = Diodo Láser

APD = Fotodiodo Detector de Avalancha

FDP/FDF = Panel de Distribución de Fibra y Bastidor de Distribución de Fibra

Las formulas que se utilizaran para encontrar las pérdidas totales del sistema y para calcular la máxima distancia entre repetidores son:

$$\text{Espacio Máximo entre Repetidores} = \frac{Tl}{\text{Pérdidas en la fibra en un Km}} \quad (1)$$

Donde:

$$Tl = Po - (Lce + Lct + Me + Mf + Fp) - Pr \quad (2)$$

Siendo:

Tl = Pérdidas Totales en la Línea incluyendo las pérdidas de acoplamiento.

Po = Potencia de Salida de la Fuente en la Fibra

Lce = Pérdidas de Conexión en el Equipo
($Lce = Lc1 + Lc2 + Lcr$)

$Lc1,2$ = Pérdidas en las Conexiones de los Conectores

Lcr = Pérdida de Conexión en la entrada del conector de recepción

Lct = Pérdidas de conexión del conector de salida del transmisor

Me = Margen de Operación del Equipo

Mf = Margen de Operación por el Cable

Fp = Recargo por el Ancho de Banda en la Fibra

Pr = Sensitividad en el receptor a la entrada del APD

Para calcular las pérdidas totales (Tl) en el sistema de 140 Mb/s que se utiliza en el diseño del enlace Torre el Carmen-central Centro, utilizamos

la fórmula (2) con los siguientes valores:

$$P_o = - 3 \text{ dBm.}$$

$$P_r = - 48 \text{ dBm.}$$

$$P_o - P_r = 45 \text{ dBm.}$$

$$M_e + M_f = 5.0 \text{ dB}$$

$$L_{ce} + L_{ct} = 3.5 \text{ dB}$$

$$F_p = 0.0 \text{ dB.}$$

De donde se obtiene que:

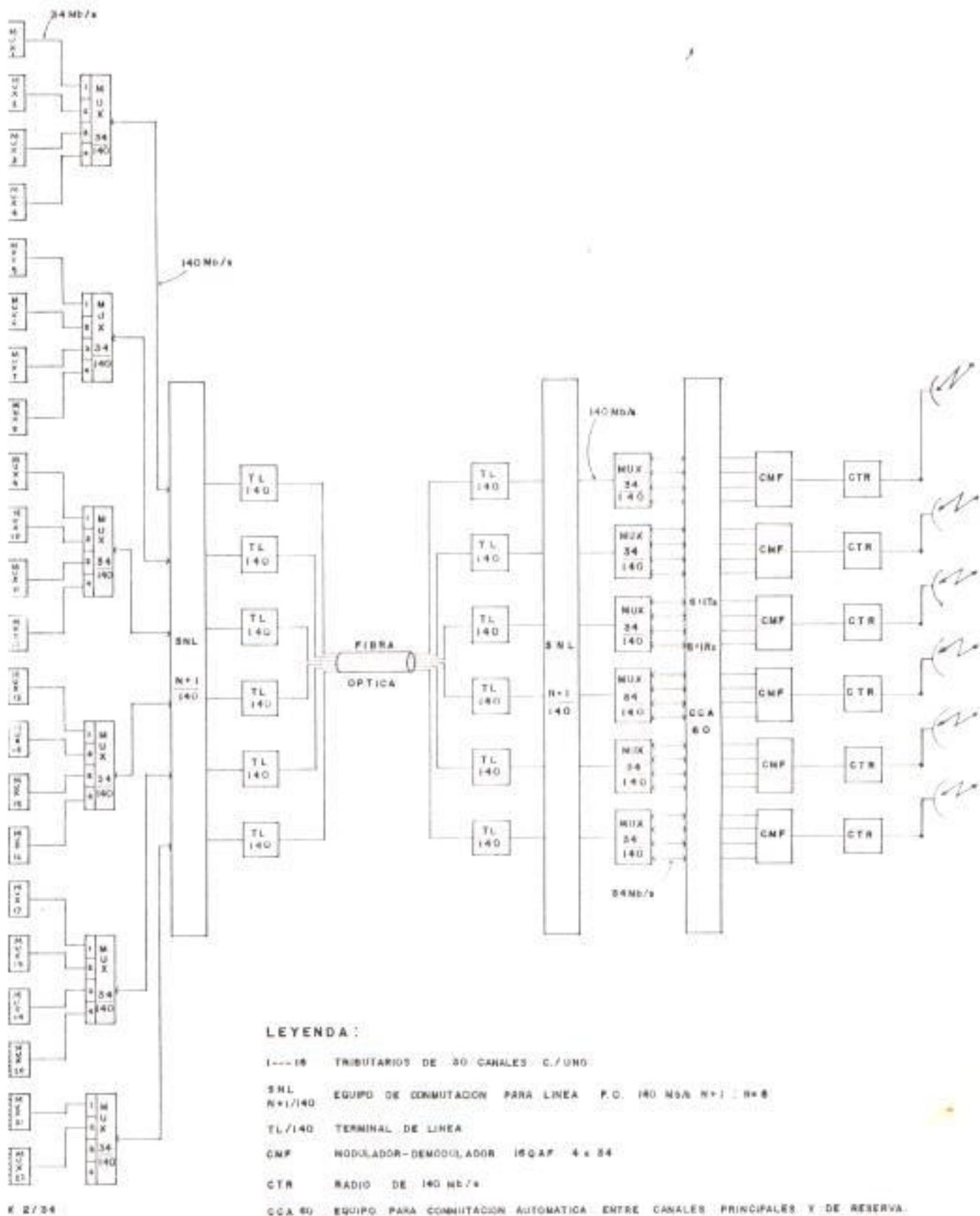
$$T_1 = 36.5 \text{ dB}$$

Utilizando la fórmula (1) para calcular el espacio máximo entre repetidores y tomando como referencia una pérdida en el cable de fibra óptica de 3 dB/Km, tenemos que la distancia máxima entre repetidores es de 12.2 Km.

De acuerdo con este resultado, se concluye que no se necesitan repetidores ópticos en el enlace referido en este trabajo, debido a que su longitud es inferior a la calculada.

5.3 CONFIGURACION DEL SISTEMA

En la Fig. 5.6 se indica la configuración del sistema de



AQUIL CENTRO
(FRAL CENTRO)

ESTACION TORRE EL CARMEN
(GUAYAQUIL)

FIG. 5.6 SISTEMA DE ENLACE DIGITAL A 140 Mb/s

enlace digital por fibra óptica entre la estación Torre el Carmen y la central Centro.

El diseño de este enlace se lo ha realizado tomando en consideración las necesidades de tráfico y número de canales, proyectados con miras al año 2000 (ver tabla 5.3); es decir es un sistema de 140 Mb/s (1920 canales).

A continuación se hace una descripción de cada uno de los sistemas, donde se indica la distribución de canales:

Sistema Guayaquil-Quito

Sistema	Capacidad Canales	Configuración del Sistema	No de Canales Total
140 Mb/s	1920	2+1	3864

Sistema Guayaquil-Cuenca

Sistema	Capacidad de Canales		Configuración del Sistema
140 Mb/s	1920		2+1
Localidad	Mux	Tributarios	No de Canales
Cuenca	1	1-14	428
Azoguez		15-17	76
Cañar	2	18-19	57
Macas		20-21	41

Gualáceo		22	40
Paute		23	22
Sig Sig		24	17
Biblian		25	13
Giron		26	15
Sucua	2	27	25
Mendez		28	12
El Tambo		29	11
Sta Isabel		30	14
Gualaquiza		31	14
Gral Plaza		32	13
Palora	3	33	10

Sistema Guayas-Los Rios

Sistema	Capacidad de Canales		Configuración del Sistema
140 Mb/s	1920		2+1
Localidad	Mux	Tributarios	No de Canales
Milagro	1	1-9	275
Daule		10-12	89
Balzar		13-14	58
El Triunfo		15	35
El Empalme		16-17	66
Naranjito	2	18	29
M. Maridueña		19	16
Bucay		20	15

P. Carbo		21	21	
Naranjal		22	41	
Yaguachi		23	23	
Samborondon		24	18	
Pichincha		25	10	
I. Ayora	2	26	11	
L. Sargentillo		27	11	
Puna		28	11	
Sta Lucia		29	11	
Salitre		30	19	
Palestina		31	19	
Balao		32	14	
C. Balzar		3	33	10
Tenguel			34	14
Quevedo			35-49	446
Babahoyo	4	50-57	243	
Vinces		58-59	58	
Ventanas		60-61	64	
Catarama		62	28	
Puebloviejo		63	21	
Mocache		64	11	
Buena Fe		5	65	20
Valencia			66	18
Palenque	67		14	
Baba	68		10	
Montalvo	69		12	
La Troncal		70-71	47	

Guaranda		72-75	122
Echeandia	6	76	13
Chillanes		77	12

Sistema Guayaqui-Machala-Loja

Sistema	Capacidad de Canales	Configuración del Sistema		
140 Mb/s	1920	1+1		
Localidad	Mux	Tributarios	No de Canales	
Machala	1-4	1-61	699	
Pasaje		62-64	85	
Sta Rosa		65-67	96	
Huaquillas		68-70	98	
Piñas	5	71-72	45	
Zaruma		73	33	
Arenillas		74	37	
El Guabo		75	25	
Portovelo		76	13	
Loja		6	77-96	537
La Toma		7	97-98	68
Cariamanga	99-100		53	
Macara	101-102		53	
Zamora	103-105		77	
Catacocha	106		33	
Celica	107		21	
Gonzanama	108		11	

Malacatus		109	10
Zapotillo		110	13
Alamor		111	15
Vilcabamba		112	14

Sistema Guayaquil-Manta-Portoviejo

Sistema	Capacidad de Canales	Configuración del Sistema	
140 Mb/c	1920	1+1	
Localidad	Mux	Tributarios	No de Canales
Manta		1-23	697
Portoviejo		24-46	706
Chone		47-52	186
Bahia		53-55	104
Jipijapa		56-57	78
Caiceta		58-59	45
Rocafuerte		60	30
Tosagua		61	22
San Vicente		62	13
Junin		63	15
Sta Ana		64	22
Sucre		65	22
Pichincha		66	22
Pagan		67	21
Jama		68	1

Sistema Guayaquil-Animas-Salinas

Sistema	Capacidad de Canales	Configuración del Sistema	
140 Mb/s	1920	1+1	
Localidad	Mux	Tributarios	No de Canales
Salinas	1	1-11	328
La Libertad		12-20	268
Playas	2	21-22	42
Posorja		23	30

5.4 CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE EL DISEÑO

Es obvio que existe una relación muy estrecha entre los equipos a utilizarse en un sistema de enlace digital y los cálculos de ingeniería para que el diseño resulte de acuerdo a los objetivos y requerimientos deseados.

Por lo tanto, resulta necesario y muy importante conocer los diversos parámetros técnicos de los principales equipos a utilizar en este diseño, los cuales están basados en las normas y recomendaciones dadas por el CCITT.

Equipo Multiplex 2/34 Mb

El equipo multiplex 2/34 convierte hasta 16 flujos asincrónicos de 2048 Kb, correspondientes a 30 canales de voz

cada uno, en un flujo de 34368 Kb, correspondientes a 480 canales de voz y visiverba; cuyas características son las siguientes:

Total Tributarios a 2048 Kb	16
Método de Multiplexación	Bit Interlaminado
Estructura de Trama	Numero de Bit:
	<u>Grupo I</u>
Alineación de trama, 1111010000	1 a 10
Bit de Alarma	11
Canal de Señalización (E/M)	12
Bit extras	13 a 16
Bit para Tributarios	17 a 384
	<u>Grupo II</u>
Estado de Bits Cj1 Justif Tiempo	1 a 16
Bit para Tributarios	17 a 384
	<u>Grupo III</u>
Estado Bits Cj2 Justific. Tiempo	1 a 16
Bit para Tributarios	17 a 384
	<u>Grupo IV</u>
Estado Bits Cj3 Justific. Tiempo	1 a 16
Bits Disponibles Justif. de Tiempo	17 a 32
Bit para Tributarios	33 a 384
Longitud de Trama	1556 bits
Bit por Tributario	92 bits
Pulso Máximo de Relleno por Tribut.	22375 Kb
Relación pulso nominal relleno	0.469

JitterEntrada de Tributarios:Máxima tolerancia

Jitter por frecuencia < 2.4 Khz	1.5 U _I p-p
---------------------------------	------------------------

Jitter por frecuencia > 16 Khz	0.2 U _A p-p
--------------------------------	------------------------

Salida de Tributarios:

Jitter para frecuencia < 100 Khz	0.25 U _I p-p
----------------------------------	-------------------------

Multiplex Entrada:Máxima Tolerancia

Jitter por frecuencia < 1 Khz	1.5 U _I p-p
-------------------------------	------------------------

Jitter por frecuencia 10-800 Khz	0.15 U _I p-p
----------------------------------	-------------------------

Multiplex Salida:

Jitter por frecuencia 100-800 Khz	0.05 U _I p-p
-----------------------------------	-------------------------

Transferir JitterAmplificación de:

Jitter para frecuencias < 100 Khz	0 dB
-----------------------------------	------

Jitter para frecuencias > 100 Khz	-20 dB/dec
-----------------------------------	------------

Sincronización de TiempoUnidad Tributarios 2 Mb:

Oscilador de Cristal Buil-In	frec. 8192 Khz
	toleran. 50 10 ⁻⁶

Unidad Interfase de Linea 34 Mb:

Oscilador de Cristal Buil-In	frec. 34368 Khz
	toleran. 20 10 ⁻⁶

Canal de Señalización, Interfase de 12 Bits E&M

<u>Capacidad</u>	22375 Kb
------------------	----------

Alambre -M

Cerrado a Tierra	0 a -5 V
Abierto a tierra	-8 a - 57 V
Max. Resistencia de Lazo	2 K ohms
<u>Alambre -E</u>	
Max Contacto de Sobrevoltage	72 V
Cerrado	< 50 mA
Abierto	< 50 uA
Consumo de Potencia	app 90 W
Potencia Voltage Aplicado, Bateria	-30 a -72 V
Rectificador Principal	110, 127 o 220 V
Frecuencia Principal	45 - 65 Hz
<u>Climatización</u>	
Temperatura	0 - 45 C
Humedad	Max. 90 %
<u>Dimensiones</u>	
Alto, Ancho, Profundidad	224x448x220 mm
Bay (HxWxD)	2743x600x260 mm
<u>Peso</u>	
Equipado Completamente	app. 14 Kg.

Equipo Multiplex 34/140 Mb

El equipo multiplex 34/140 convierte hasta 4 flujos a-síncronos de 34368 Kb, en una señal digital de 139264 Kb/s correspondientes a 1920 canales y visiversa; cuyas características son las siguientes:

Capacidad por Canal	47.56 Kb/s
Interfase Tipo E&M para bit 14	
Interfase tipo TTL para bits 15 y 16	
<u>Interfase para conexión externa de Temporización</u>	
Impedancia	75 ohms desbal.
Frecuencia	34816 Khz
Tolerancia	15×10^{-6}
Onda de Entrada	Seno cuadrada
Onda de Salida	Cuadrada
Amplitud de Pulso	Valores típicos
	bajo: 1.75 V
	alto: 0.85 V

Alarmas (alarmas Principales)

AIS a 140 Mb entrada	AIS
Pérdida señal entrada a 34 Mb/s	TRF
Pérdida señal entrante a 140 Mb/s	FFL (SLF)
Pérdida Alineac. trama a 140 Mb/s	FFL
Razón de Error $< 10^{-3}$ alineac Trama	BFL
Alarma Extremo cercano	B13R
Falla de Potencia	PFL
Salida de Alarmas	
Urgente	A - alarma
No urgente	B - alarma
Indicación Permanente	(P)
Sistema de Alarma	(SA)
Indicación Visual (LED)	
Falla en extremo cercano	

Falla en extremo lejano

A - alarma

B - alarma

P - permanente

Consumo de Potencia (Inc Conv)	120 W
Voltage de alimentación	- 30 a - 72 V _{dc}
Convertidor Principal	110, 127 0 220 V
Frecuencia Principal	10% a -10%

Clima:

Temperatura	0 a -45 C
Humedad	Max 90%

Dimensiones:

Alto, Profundidad, Ancho	244x448x220 mm
Peso Equipado Completamente	13 Kg

Equipo Terminal de Línea

Las características técnicas de este equipo son las siguientes:

Interfase Digital	D4
Velocidad de Bits	139264 Kb/s
	15 ppm
Código	CMI
Impedancia	75 ohms, simetric
Amplitud de Pulso	1 V
Atenuación Permisible en cable	12 dB

de estación a 70 Mhz	
Interfaz Optico	F4
Velocidad de Simbolos	167117 Mbauds
Codigo	5B6B
Potencia de Salida	-3 dBm
Longitud de onda (Típica)	840 nm
Anchura Espectral de Banda	2 nm
3 dB (típica)	
<u>Sensibilidad, Umbral</u>	
con dispersión 5 ns	< - 42 dBm
con dispersión < 3 ns	< - 44 dbm
Dinamica	20 dB
<u>Medio de Transmisión</u>	
tipo de fibra	de baja atenuación ind gradual
Dispersión permisible	5 ns
Diámetro del nucleo	50 um
Diámetro del revestimiento	125 um
Apertura Numérica	0.21 + 0.02
<u>Alimentación de Energía</u>	
tensión nominal de baterías	-36, -48, -60 V
conexión de red	110, 127 y 220 V
frecuencia de red	45 - 65 Hz
<u>Consumo de Potencia</u>	
almacén de terminación de línea	65 W
Amplif. Intermedio (Bidireccional)	20 W
<u>Localización de Falias</u>	

Localización de Amplificación de Línea con Anormalidad	por la propia fibra
Max. Num. de Amplif. de Línea Conect. Línea de Servicio	255 por la propia fibra o par cobre

Dimensiones

Almacén de Terminación de Línea	244x427x220 mm
Almacén Amplificador Intermedio	244x244x220

5.5 RUTA DE CANALIZACION

De acuerdo a la ruta de canalización mostrada en el plano 5.1; la longitud entre la central Centro y la estación el Carmenes de 2500 Mt.

Esta canalización es subterránea y esta formada por dos ductos de cuatro vías cada uno, con un diámetro de 10 cm por vía.

Esta ruta de canalización presenta dos alternativas, como se ve en el plano 5.1, de las cuales la primera (alternativa 1) es la mas aconsejable para el presente trabajo, ya que dispone de vías libres, lo cual facilita la instalación del cable de fibra óptica.

Lo ideal sería tener una canalización independiente solo para el cable de fibra óptica, por seguridad y estrate-

gia, con su respectiva vía de reserva, pero económicamente no es aconsejable; además la construcción de una nueva ruta de canalización lleva a un cierto número de inconvenientes tales como: Romper las calles con el subsecuente obstaculización del tráfico motorizado, el pago de jornales, trabajadores y el alto costo de los ductos y materiales de trabajo, así como el tiempo que lleva realizar una obra de esta naturaleza.

Por las razones expuestas anteriormente y considerando que la alternativa uno ofrece muchas facilidades, recomendamos esta para la colocación del cable óptico.

5.6 SISTEMA DE FUERZA

No existe problemas de energía, ya que tanto en la central Centro como en la estación del Carmen, existen acometidas para el sistema, tomada de la red pública de energía eléctrica, con lo cual se alimentan los equipos de comunicación, además de que cuentan con equipos de reserva como es el caso de generadores y bancos de baterías con sus respectivos rectificadores, en caso de que falle la energía pública.

Central Centro

El sistema de fuerza necesario para alimentar los equi-

pos de transmisión de la central son:

- Red Pública de Guayaquil
- Banco de Baterías y Rectificadores para 48 V.

Estación Torre el Carmen

Al igual que en la central Centro, los equipos de esta estación serán alimentados de la siguiente manera:

- Red Pública de Guayaquil
- Banco de Baterías y Rectificadores para 48 V.

CAPITULO VI

COSTO DEL PROYECTO Y PROGRAMACION PARA SU EJECUCION

6.1 COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO

El costo total estimado del proyecto asciende a USD
1580111

6.2 PROGRAMACION PARA SU EJECUCION

A continuación se indican las partes y componentes de los sistemas con sus respectivos costos por bloques, y cantidad de componentes en unidades.

(AA) Sistema de Transmisión por Fibra Optica (FOTS)

USD 222628,00

No de Articulo	C.Centro	E.el Carmen	total
----------------	----------	-------------	-------

(1) Equipo Multiplex

Abarca:

1. Almacén ZAK 30-5 para 30	320 u	-	320 u
-----------------------------	-------	---	-------

canales con equipo multi-
plex primario y equipo de
interfaz de señalización

2. Multiplex Modurack con 480 canales	24 u	24 u	48 u
3. Multiplex Modurack con 480 canales (E&M)	6 u	6 u	12 u
4. Equipo Multiplex Digital ZAK 2/34 M con 6 Sistemas	6 u	6 u	12 u
5. Equipo Multiplex Digital ZAK 34/140 de cuarto orden para un sistema	6 u	6 u	12 u
6. Bastidor de Distribución para seis Sistemas	1 u	1 u	2 u

(2) Equipo FOTS

Abarca:

1. Equipo de Conmutación	1 u	1 u	2 u
2. Equipo Terminal de Línea Optica ZAM 140-1 140 Mb/s	1 u	1 u	2 u
3. Caja de Terminación de Cable para seis Sistemas	1 u	1 u	1 u

(3) Bastidor de Distribución

Abarca:

1. Modurack de Distribución de Voz	52 u	-	52 u
2. Bastidor de Distribución Digital	12 u	12 u	24 u
3. Bastidor de Distribución Optica	6 u	6 u	12 u
4. Herramientas Especiales para Montaje	-	-	1 u

(4) Documentación

Abarca:

1. Documentación	1 u	1 u	2 u
------------------	-----	-----	-----

(5) Repuestos para el Equipo

Abarca:

1. Repuestos Consumibles	1	1	2 kit
2. Unidad de Repuestos	-	-	1 kit

(6) Materiales de Instalación

Abarca:

1. Materiales de Instalación para el Equipo	1	1	2 kit
--	---	---	-------

(7) Accesorios

Abarca:

1. Accesorios	1	1	2 kit
---------------	---	---	-------

(BB) Cable del FOTS USD 109433,00			Cantidad
-----------------------------------	--	--	----------

(1) Cable de 18 Fibras 2.6 dB/Km			2500 m
----------------------------------	--	--	--------

(2) Conectores Opticos D4			40
---------------------------	--	--	----

(3) Cubierta de Cerramiento para Cable Optico			36
--	--	--	----

(4) Material de Repuestos			
---------------------------	--	--	--

Abarca:

1. Cable de 18 Fibras			300 m
-----------------------	--	--	-------

2. Conectores Opticos D4			20
--------------------------	--	--	----

3. Cubierta de Cerramiento para Cable Optico			18
---	--	--	----

(6) Herramientas para el Mantenimiento			Cantidad
--	--	--	----------

Abarca:

1. Maquina de Fibra Optica para fusión de empalme			1
--	--	--	---

2. Trípode para Máquinas de empalme			1
-------------------------------------	--	--	---

3. Cortador de fibra			2
----------------------	--	--	---

4. Aparato para desalambrar un Cable			2
--------------------------------------	--	--	---

5. Calentador			2
---------------	--	--	---

6. Caja de Herramientas para uniones de Cables	1
7. Cortador de Cable con navaja de repuesto	1
8. Cortador de partes saliente, costura de la cubierta	2
9. Lámpara	2

(CC) Equipo para Prueba USD 134910,00 Cantidad

(1) Set PCM para probar canales	1
(2) Equipo de medición de alcance de errores	1
(3) Multímetro Digital	1
(4) Sincroscopio	1
(5) Fuente estabilizadora de Luz	1
(6) Medidor de Fuerza Óptica	1
(7) Sensor	1
(8) Adaptador-Conector	1
(9) Atenuador Variable	1
(10) Localizador de fallas repetidas (2/34 M y 34/140 M)	1

Considerando la importancia de las centrales de tránsito digitales funcionando tanto en Quito, Guayaquil y Cuenca, así como también la instalación de Sistemas de Relevadores Radio Eléctricos de Microondas, que actualmente está instalando el IETEL, para las rutas de larga distancia nacional,

y de que los sistemas de transmisión digital mencionados anteriormente, proveerán la interconexión natural y más económica entre las centrales de tránsito digital, sería conveniente que el IETEL R-2 incluya este proyecto de tesis en el plan de actividades 1988-1992.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado el presente trabajo y llevado a cabo los objetivos que dieron lugar a su realización, en concordancia con el planteamiento teórico y los resultados obtenidos, podemos expresar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Primeramente se ha señalado, el porqué se escogió el uso de un sistema de enlace digital por fibra óptica y no el tradicional analógico. Como lo hemos expresado a lo largo de esta tesis, las ventajas que se obtienen con esta nueva tecnología son innumerables y si bien es cierto que en la actualidad tanto en Quito como en Guayaquil y Cuenca existen centrales de tránsito digital, resulta más conveniente desde el punto de vista técnico como económico el uso de un enlace digital por fibras ópticas.
- La utilización de fibra óptica elimina los problemas de inducción eléctrica, diafonía y ruido inducidos, que se producen en el cable de cobre; como resultado se obtiene mejor calidad en la transmisión.
- Se reduce el área física tanto en la central Centro como

en la estación el Carmen, ya que los equipos terminales usados en este diseño son de dimensiones pequeñas.

- Las características físicas y mecánicas de la fibra óptica permite reducir al mínimo los costos de mantenimiento.
- La utilización de la fibra óptica como parte de este enlace, nos permite transmitir mayor número de canales, en pocos cables.
- No hay necesidad de crear una nueva ruta de canalización telefónica, debido al pequeño diámetro que tiene el cable de fibra óptica, que permite su montaje en la canalización existente (alternativa 1), lo cual implica una reducción de costos.
- Después de haber realizado el respectivo estudio de tráfico y capacidad de canales necesarios para este enlace, se concluyó que para satisfacer la demanda de tráfico actual y la de un futuro cercano, se requiere de un sistema con una capacidad de 1920 canales telefónicos 2+1 (140 Mb/s), sistema que, en la actualidad se considera que es la mejor alternativa para redes de gran capacidad.
- Con el uso de los equipos propuestos en este diseño, sus características nos ha permitido diseñar un sistema digital que cumple ampliamente los objetivos de calidad y con-

fiabilidad indicados por el CCITT.

- Tomando en consideración las conclusiones anteriores, y en vista que el IETEL, dentro de su plan de desarrollo, se encuentra empeñado en la instalación de sistemas de radio digital (micro-ondas) para la red de larga distancia nacional, se recomienda que el enlace por fibra óptica entre la central Centro y la estación el Carmen, motivo de la presente tesis, sea implementado a corto plazo, como parte de este plan de desarrollo de las telecomunicaciones; ya que el sistema de enlace actual, presenta un alto grado de congestionamiento de tráfico (instalado hace 15 años aproximadamente), y el tiempo de vida útil de estos equipos está llegando a su fin.

APENDICE A
CARACTERISTICAS DE COMPONENTES OPTOELECTRONICOS

TABLA A.1

PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LASER
1a BANDA

TIPO DE LASER	LONGITUD DE ONDA	ANCHO ESPECTRO	POT. EMIT. EN FIBRA	CORRIEN. HABILIT.	TIEMPO SUBIDA	REALIMT. NEG. PIN
GTE	790-880NM	1.0nm	1mW	85mA	1.0ns	SI
OPTRONICS	790-880nm	1.0nm	1mW	90mA	1.0ns	SI
NEC	800-880nm	1.5nm	1mW	90mA	0.5ns	SI
THOMSON	800-880nm	2nm	1.5mW	90mA	0.5ns	SI
HITACHI	780-880nm	1nm	1.5mW	35mA	0.5ns	SI
FUJITSU	780-870nm	1nm	1mW	100mA	1.0ns	SI

2a BANDA

GTE	1300nm	2nm	1mW	90mA	1ns	SI
OPTRONICS	1300nm	1nm	1mW	90mA	1ns	SI
HITACHI	1300nm	1nm	1.2mW	50mA	0.5ns	SI
NEC	1300nm	6nm	1mW	70mA	0.5ns	SI
FUJITSU	1300nm	1nm	85mW	85mA	0.5ns	SI

TABLA A.2

PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LEDs
1a BANDA

TIPO DE LED	LONGITUD DE ONDA	ANCHO ESPECTRO	POT. EMIT. EN FIBRA	CORRIEN. HABILIT.	TIEMPO SUBIDA
GTE	730-880nm	45nm	50uW	100mA	4ns
GTE	730-880nm	30nm	20uW	100mA	4ns
NEC	730-880nm	50nm	55uW	110mA	15ns
THOMSON	730-880nm	50nm	10uW	150mA	5ns
FUJITSU	730-880nm	40nm	100uW		7ns

2a BANDA

PLESSEY	1200-1330	110nm	25uW	150mA	12ns
NEC	1250-1330	130nm	20uW	150mA	15ns
FUJITSU	1120-1500	125nm	15uW	150mA	12ns

TABLA A.3

CARACTERÍSTICAS DE RECEPTORES OPTICOS 1a / 2a BANDA

TIPO DE RECEPTOR	SENSITIVIDAD 2 Mb/s	SENSITIVIDAD 8 Mb/s	SENSITIVIDAD 34 Mb/s
APD 1a B.	- 62 dBm	- 58 dBm	- 54 dBm
FIN 2a B.	-	-	-
APD 2a B.	-	-	- 48 dBm

BIBLIOGRAFIA

1. SIEMENS, "Comunicaciones Ópticas", 1983
2. ITT, "Comunicaciones Eléctricas", No 3 Vol 57, Ene. 87
3. FUJIKURA TECHNICAL REVIEW, "Recent Topics of Optical Fiber and Cables", Ene. 1987
4. CRIEEL, "Comunicaciones por Fibras Ópticas", Mayo 1986
5. FUJIKURA TECHNICAL REVIEW, "Transmission Characteristics and Manufacturing of Low - Loss Single Mode Fibers", 1985
6. GTE. TELECOMUNICAZIONI, "Notas Técnicas acerca de Sistemas de Transmisión en Fibras Ópticas", May 1982
7. ERICSSON REVIEW, "Optical Fiber Line Systems", No F 1984
8. L.M. ERICSSON, "Digitalización de la Red de Transmisión", Conferencias en Ecuador 1979
9. A. OTATTI, "Diseño de una Alternativa para la Red Guayaquil-Quito", (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica,

Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1987)

10. RAIMUNDO DIAZ DE LA IGLESIA, "Comunicaciones por Fibras Ópticas", Manual de Ingeniería, Serie Mundo Electrónico, Marcombo
11. HEWLETT PACKARD, "Fibras Ópticas", Handbook, Octubre 1987
12. Carlos BECERRA E., "Fundamentos sobre Sistemas de Fibras y Cables Ópticos", Julio 1985
13. TECHNICAL STAFF OF CSLT, "Optical Fiber Communication", 1981
14. MAURICIO SOTO M., "Tráfico Telefónico", Nov. 1982