



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACION**

TRABAJO DE GRADUACION

**DISEÑO DE UN ENLACE POR DIVERSIDAD DE RUTA
UTILIZANDO FIBRA OPTICA CON TRANSMISION
SDH ENTRE SANTA ANA (SAMBORONDON) Y
GUAYAQUIL**

**PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

PRESENTADO POR:

**OSCAR BRIONES OLMEDO
OMAR GOMEZ SISALEMA
VERONICA UVIDIA ANDRADE**

GUAYAQUIL - ECUADOR

1999

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la “ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

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

.....

Oscar Briones Olmedo

.....

Omar Gómez Sisalema


.....

Verónica Uvidia Andrade

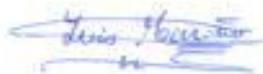
AGRADECIMIENTO

Al Ing. Luis Alfredo Mariño, Director de la Tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

Al Banco del Estado, por habernos permitido utilizar sus instalaciones y recursos computacionales, lo que nos ha permitido llegar a un feliz término con el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

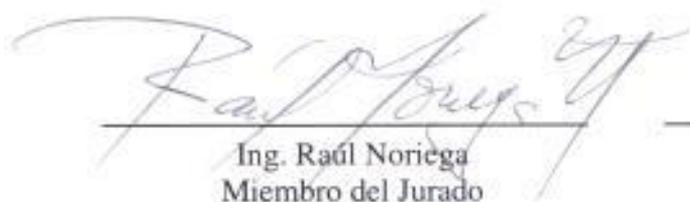
Dedicamos este trabajo a todas las personas que nos han apoyado directa e indirectamente y en especial a nuestros padres, que son su ejemplo de amor y constancia han influido en nuestras personalidades para poner el entusiasmo, dedicación, esfuerzo, para llegar a la culminación de nuestros logros profesionales.



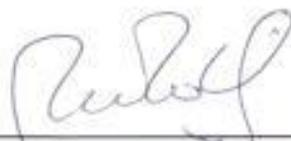
Ing. Luis Mariño
Director de Tópico



Ing. Armando Altamirano
Presidente del Jurado



Ing. Raúl Noriega
Miembro del Jurado



Ing. Washington Medina
Miembro del Jurado

RESUMEN

La tecnología de la fibra óptica cada vez toma más fuerza, nuevas técnicas de fabricación de la misma ha permitido que incluso se llegue a hablar de capacidad de transmisión de información del orden de los Terabit por segundo.

Este trabajo de investigación denominado "Diseño de un enlace por diversidad de ruta utilizando fibra óptica con transmisión SDH entre Santa Ana (Samborondón) y Guayaquil" pretende aprovechar las propiedades de la fibra óptica y toda la tecnología que la rodea.

El objetivo de esta tesis es plantear un nuevo esquema de enlace entre la estación Santa Ana, ubicada en el cerro Santa Ana del cantón Samborondón y la Portadora ubicada en el edificio del Correo de la ciudad de Guayaquil. Con este esquema se pretende reemplazar el actual sistema de comunicación que está basado en un sistema de radioenlace por uno que está basado en fibra óptica y permitirá a su vez brindar más y mejores servicios a la comunidad.

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	VI
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
CAPITULO 1.....	18
GENERALIDADES	18
1.1 SITUACIÓN ACTUAL.....	18
1.2 SITUACIÓN PROPUESTA.....	22
CAPITULO 2.....	25
FIBRA OPTICA	25
2.1 CARACTERÍSTICAS.....	25
2.1.1 Composición de la Fibra Optica.....	25
2.1.2 Diámetros usuales de la fibra	26
2.1.3 Proceso de Transmisión de la Luz en la Fibra	28
2.1.4 Apertura Numérica.....	29
2.1.5 Clasificación de la Fibra Óptica.....	30
2.1.6 Característica de Transmisión de la Fibra Óptica	34
2.2 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.....	49
2.2.1 Cables.....	49

2.2.2	Fuentes Opticas	61
2.2.3	Conectores	67
2.2.4	Empalmes	67
2.3	VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA	68
2.4	DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	69
CAPITULO 3.....		71
SDH.....		71
3.1	EVOLUCIÓN DEL SDH	71
3.1.1	PDH.....	72
3.1.2	Sonet.....	72
3.1.3	Ventajas de SDH respecto de PDH.....	73
3.2	ESTRUCTURA DEL FRAME DE SDH	74
3.2.1	STM-1	74
3.3	MULTIPLEXACIÓN	76
3.4	SEÑALES PLESIÓCRONAS	78
3.4.1	Mapeo.....	78
3.5	TIPOS DE TOPOLOGÍAS DE RED.....	80
CAPITULO 4.....		81
DISEÑO DEL ENLACE		81
4.1	TRAYECTO DEL ENLACE Y TENDIDO DEL CABLE DE F.O.....	82
4.1.1	Trayecto Aéreo (ruta 1).....	84

4.1.2	Trayecto Canalizado y Enterrado (ruta 2).....	86
4.1.3	Tendido del cable en forma aérea	88
4.1.4	Tendido del cable en forma canalizada.....	89
4.1.5	Tendido del cable en forma enterrada.....	90
4.2	CÁLCULOS DEL ENLACE.....	92
4.2.1	Cálculos para el tendido canalizado y enterrado.....	93
4.2.2	Cálculos para el tendido aéreo	94
4.3	ELEMENTOS DE LA RED	96
4.3.1a	Características del Equipo ADM16 (Análisis 1).....	97
4.3.1b	Características del equipo ADM 16 (Análisis 2)	105
4.3.2	Tipos de cable utilizados.....	111
4.4	CONFIGURACION Y TOPOLOGÍA DEL ENLACE.....	115
4.5	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	121
4.5.1	Conectores.....	121
4.5.2	Empalmes.....	122
4.6	ACCESORIOS	123
4.6.1	Tirador de cables de fibra óptica.....	123
4.6.2	Amarres aéreos.....	124
4.6.3	Conductos para el cable	125
4.6.4	Cajas de empalmes.....	126
4.6.5	Gufas para cables de F. O. (Cojinetes).....	127

4.6.6 Máquina zanjadora para tendido enterrado	128
CAPITULO 5.....	129
OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	129
5.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL EQUIPO DE LA JERARQUÍA SDH. 131	
5.1.1 Subsistema agregado STM -1	131
5.1.1 Subsistemas agregados STM -4 y STM-16	134
5.1.2 Subsistema Tributario	134
Unidad de tributario de 21 x 2 Mbps.....	134
5.1.3 Subsistemas de Protecciones Automáticas.....	136
Protección de línea	138
5.1.4 Monitoreo y señalización de las Alarmas	138
5.1.5 Gestión de la red.....	139
5.2 INSTALACIÓN DE LA RED.....	140
5.2.1 Instalación mecánica	140
5.2.2 Instalación eléctrica y óptica.....	143
5.2.3 Inserción del equipo en la red	145
5.2.4 Pruebas y funcionamiento de red	146
5.3 MANTENIMIENTO DE LA RED.....	147
5.3.1 Instrumentos y accesorios	148
5.3.2 Mantenimiento preventivo aéreo, enterrado y canalizado	149
COSTOS.....	151

6.1 PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL ENLACE	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
ABREVIATURAS	158
ANEXO.....	159
Plano topográfico Guayaquil - Samborondón.....	160
BIBLIOGRAFIA.....	161

INDICE DE TABLAS

	Página
CAPITULO 2	
Tabla 2. 1: Clasificación de la Fibra Óptica	30
Tabla 2. 2: Clasificación de la Fibra Óptica	32
Tabla 2. 3 Clasificación de la F.O. según el Material.....	33
Tabla 2. 4: Causas de las Pérdidas Ópticas.....	39
Tabla 2. 5: Tipos de cable.....	52
Tabla 2. 6: Características de los Dispositivos Emisores de Luz	63
CAPITULO 4	
Tabla 4. 1 Tendido del cable aéreo de F.O. Guayaquil - Sta. Ana (Samborondón) ...	85
Tabla 4. 2 Enlace (Trayecto Canalizado /Enterrado) GYE - SANTA ANA	87
Tabla 4. 3 Pérdidas en la Ruta Canalizada/Enterrada.....	94
Tabla 4. 4 Pérdidas en la Ruta Aérea.....	95
Tabla 4. 5: Elementos utilizados en el enlace Guayaquil - Sta. Ana.....	96
Tabla 4. 6: Especificaciones Técnicas del Equipo ADM-16 para tributarios de 140 Mbit/s.....	104
Tabla 4. 7: Especificaciones Técnicas del Equipo ADM-16 para tributarios de 34 Mbit/s.....	108
Tabla 4. 8 Características del Cable Aéreo Autosoportado (ADSS).....	113
Tabla 4. 9 Características del Cable Aéreo Autosoportado (ADSS).....	115

CAPITULO 6

Tabla 6. 1: Presupuesto Referencial del Equipo y sus Accesorios	152
Tabla 6. 2: Presupuesto Referencial del Tendido de Cable de F.O. Aéreo y Canalizado/Enterrado y sus Accesorios.....	152
Tabla 6. 3: Presupuesto Referencial del Respaldo por Microondas con sus Accesorios	153
Tabla 6. 4: Presupuesto Total del Respaldo por Microondas	154
Tabla 6. 5: Presupuesto Total del Proyecto (Análisis 1).....	154
Tabla 6. 6: Presupuesto Referencial del Equipo y sus Accesorios	155
Tabla 6. 7: Presupuesto Referencial del Tendido de Cable de F.O. Aéreo y Canalizado/Enterrado y sus Accesorios.....	155
Tabla 6. 8: Presupuesto Total del Proyecto (Análisis 2).....	156
Tabla 6. 9: Comparación de Costos entre los Analisis 1 y Analisis 2	156

INDICE DE FIGURAS

Página

CAPITULO 1

Fig. 1.1.a: Situación actual del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) (extremo Guayaquil).....	20
Fig. 1.1.b: Situación actual del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) (extremo Santa Ana).....	21
Fig. 1.2.a: Propuesta 1 del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón), utilizando tributarios eléctricos de 140 Mbps con redundancias	23
Fig. 1.2.b: Propuesta 2 del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón), utilizando tributarios eléctricos de 34 Mbps	24

CAPITULO 2

Fig. 2.1: Vista transversal y lateral de una Fibra Óptica	26
Fig. 2.2: Pérdida Óptica.....	34
Fig. 2.3: Diferentes Factores de la Pérdida Óptica	35
Fig. 2.4: Pérdida Óptica por Imperfecciones Estructurales.....	37
Fig. 2.5: Pérdida por Flexión.....	37
Fig. 2.6: Pérdida por empalme	38
Fig. 2.7: Pérdidas ópticas en función de la longitud de onda	40
Fig. 2.8: Dispersión por Longitud de Onda.....	41
Fig. 2.9: Fenómeno de Dispersión.....	42
Fig. 2.10: Característica de la Respuesta de la Fibra de Banda Base.....	43

Fig. 2.11: Característica de la respuesta de la fibra de Banda Base de 6 dB de Ancho de Banda	44
Fig. 2.12: Características de la respuesta de frecuencia de Banda Base en la F. O.	44
Fig. 2.13: Dispersión por Modo	45
Fig. 2.14: Dispersión del Material.....	46
Fig. 2.15: Dispersión de Guía.....	47
Fig. 2.16: Factores que restringen el ancho de banda.....	48
Fig. 2.17: Cable de fibra óptica en figura 8.....	49
Fig. 2.18: Cable de fibra óptica con armadura	50
Fig. 2.19: Cable de Tubo Holgado	56
Fig. 2.20: Tubo holgado de cable de fibra óptica	57
Fig. 2.21: Cable de Estructura Ajustada.....	58
Fig. 2.22: Cable de Fibra Óptica Estructura Ajustada.....	58
Fig. 2.23: Principio de Operación del PIN-PD y Niveles de Energía	64
Fig. 2.24: Principio de operación del APD y Niveles de Energía	66

CAPITULO 3

Fig. 3.1: Estructura de la trama STM1	75
Fig. 3.2: Entidades Administrativas	76
Fig. 3.3: Multiplexación de N grupos de unidades administrativas AUG para formar una señal STM-N.....	77
Fig. 3.4 Jerarquía de multiplexación SDH y su terminología	78

Fig. 3.5: Inserción de una señal plesiócrona.....	79
Fig. 3.6: Estructura VC-4 de 9 hileras.....	79
Fig. 3.7: Fragmentos básicos de topologías de red.....	80
 CAPITULO 4	
Fig. 4. 1: Ruta del Enlace entre Guayaquil y Santa Ana - Samborondón	83
Fig. 4. 2: Multiplexor Sincrónico Add/Drop (STM 16)	97
Fig. 4. 3: Estructura del Subrack SDH-16.....	103
Fig. 4.4: Estructura Funcional Sincrónica ADM.....	103
Fig. 4.5: Cable para Instalación Aéreo (ADSS).....	112
Fig. 4.6: Cable para Instalación Enterrado/Canalizado	114
Fig. 4.7: Configuración Tipo Terminal entre Guayaquil y Sta. Ana (Samborondón) utilizando diversidad de ruta (análisis 1)	117
Fig. 4.8: Distribución de flujos del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/Drop, utilizando tributarios eléctricos de 140Mbps	118
Fig. 4.9: Configuración Tipo Terminal entre Guayaquil y Sta. Ana (Samborondón) utilizando diversidad de ruta (análisis 2)	119
Fig. 4.10: Distribución de flujos del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/Drop, utilizando tributarios eléctricos de 34Mbps.....	118
Fig. 4.11: Conector FC/PC.....	121
Fig. 4.12: Empalme por fusión.....	122
Fig. 4.13: Tirador de cables de F.O.....	123

Fig. 4.14: Soportes para cables aéreos.....	124
Fig. 4.15: Unidades de suspensión para postes	125
Fig. 4.16: Amarres terminales para postes	125
Fig. 4.17: Conductos para cables.....	126
Fig. 4.18: Caja de empalme aéreo	127
Fig. 4.19: Guía o cojinete para F.O.	127
Fig. 4.20: Máquina Zanjadora para tendido enterrado	128
 CAPITULO 5	
Fig. 5. 1: Esquema de los Subsistemas Utilizados en Equipos SDH	130
Fig. 5.2: Ejemplo de Protección Utilizado para el Tributario 3x34 Mbps.	137
Fig. 5.3: Equipos de Monitoreo e Interfaces de Equipo de Línea	140
Fig. 5.4: Ejemplo de un Rack con Equipo Mixto y Ruta del Cableado	142
Fig. 5.5: Interfaz F1 y F2 externas del equipo SLX1/16 para la transmisión de carga útil.....	143

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 SITUACIÓN ACTUAL

Pacifictel brinda servicios de comunicación tanto de voz como de datos, siendo su área de concesión: Cañar, Azuay, Loja, Manabí, Guayas, Los Ríos, El Oro, Galápagos, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, mientras que en la transmisión del servicio de vídeo sólo lo utilizan las ciudades de Machala y Loja debido a que ellas utilizan equipos de comunicación idóneos para este tipo de servicio. Además existen dos estaciones terrenas importantes para la comunicación internacional que se encuentran en el cantón de Chongon que pertenece a la provincia del Guayas, y en Galápagos.

Para poderse comunicar la ciudad de Guayaquil con Babahoyo, Quevedo, Santo Domingo y Quito, todo el flujo de información pasa por la estación Cerro del Carmen (Guayaquil) hacia la estación Santa Ana (Samborondón), a través de microondas, donde sus equipos se encuentran alimentados por energía eléctrica, utilizando un rectificador de 150A x 2, en el caso de que la energía falle entran a restablecer la energía el generador de 44KVA, si éste deja de funcionar, existen bancos de baterías que podrán alimentar a los equipos existentes en la estación.

El envío de información desde el correo viene desde los PCM marca Siemens 707-31/067, MP31 donde se recoge la información tanto de datos como de voz, para ser comprimida, luego pasa a los DTM modelo MXL65 con un flujo de 140Mb/s la señal que sale de este equipo va al centro de conmutación de fibra óptica modelo SLX 1/16 que realiza la función de un terminal, utiliza la modulación de impulsos codificados (PCM o MIC) y tiene como referencia las recomendaciones ITU-T. De aquí sale por 6 canales más 1 de reserva el flujo de información que es enviado a través del cable de fibra óptica hasta llegar al cerro El Carmen (Guayaquil) donde se encuentran instalados equipos con iguales características y distribución de flujo a los que se

encuentran en el departamento de portadora localizado en el edificio del Correo, luego este flujo es enviado por radio a través de dos antenas utilizando el método de diversidad de espacio hacia Santa Ana (Samborondón), este paquete de información llega a la radio donde se reparte la información, ya sea hacia Manta, Babahoyo, Daule, Milagro, Naranjito, Sistema Regional 1 y 2, Vinces, Balzar, Catarama, Palenque, Sistema Rural 3 y La Troncal.

El tipo de red con que actualmente cuenta Pacifictel es PDH, y cuenta con 6 flujos de 140 Mbps más 1 de reserva, próximamente se ampliará a un sistema de siete más uno. En la figura 1.1a se muestra el diagrama de la situación actual en Guayaquil (El Carmen – Portadora) y en la figura 1.1b se muestra el diagrama de la situación actual de la estación de cerro Santa Ana (Samborondón).

La empresa de Pacifictel presta servicios a diferentes empresas locales, multinacionales y transnacionales, dentro ellas se destacan las empresas celulares, Teleholding, y aviación civil. Las empresas celulares han realizado convenios con Pacifictel S.A. para el alquiler de equipos E1 para la transmisión de voz, en cambio la empresa Teleholding el convenio que realizó con Pacifictel es el alquiler de 2.000 circuitos (locales, nacionales y 2 circuitos internacionales), por lo que Teleholding se encarga de la venta, de circuitos digitales de alta velocidad (32, 64, hasta 2.014 Mbps) debido a que tienen los equipos que manejan altas velocidades dejando a Pacifictel con 120 circuitos digitales de menor velocidad (local, nacional e internacional), además se encargan de la instalación, mantenimiento y operación.

Pacifictel a la única empresa a la que presta servicio de transmisión de datos y voz es a la Aviación Civil por medio de un cable fibra óptica a 6 hilos para realizar las comunicaciones entre Guayaquil – Quito y Quito – Bogotá.

Próximamente se va prestar nuevos servicios como: 1-800, 1-700, 1-900, TELEVOTO y TRANSMISIÓN DE DATOS VIA SATÉLITE, INTERNET. Además ofrece servicios adicionales como: configuración PBX, Casillero de voz, Casillero de voz familiar, Transmisión de datos, Red inteligente y DDI.

GUAYAQUIL

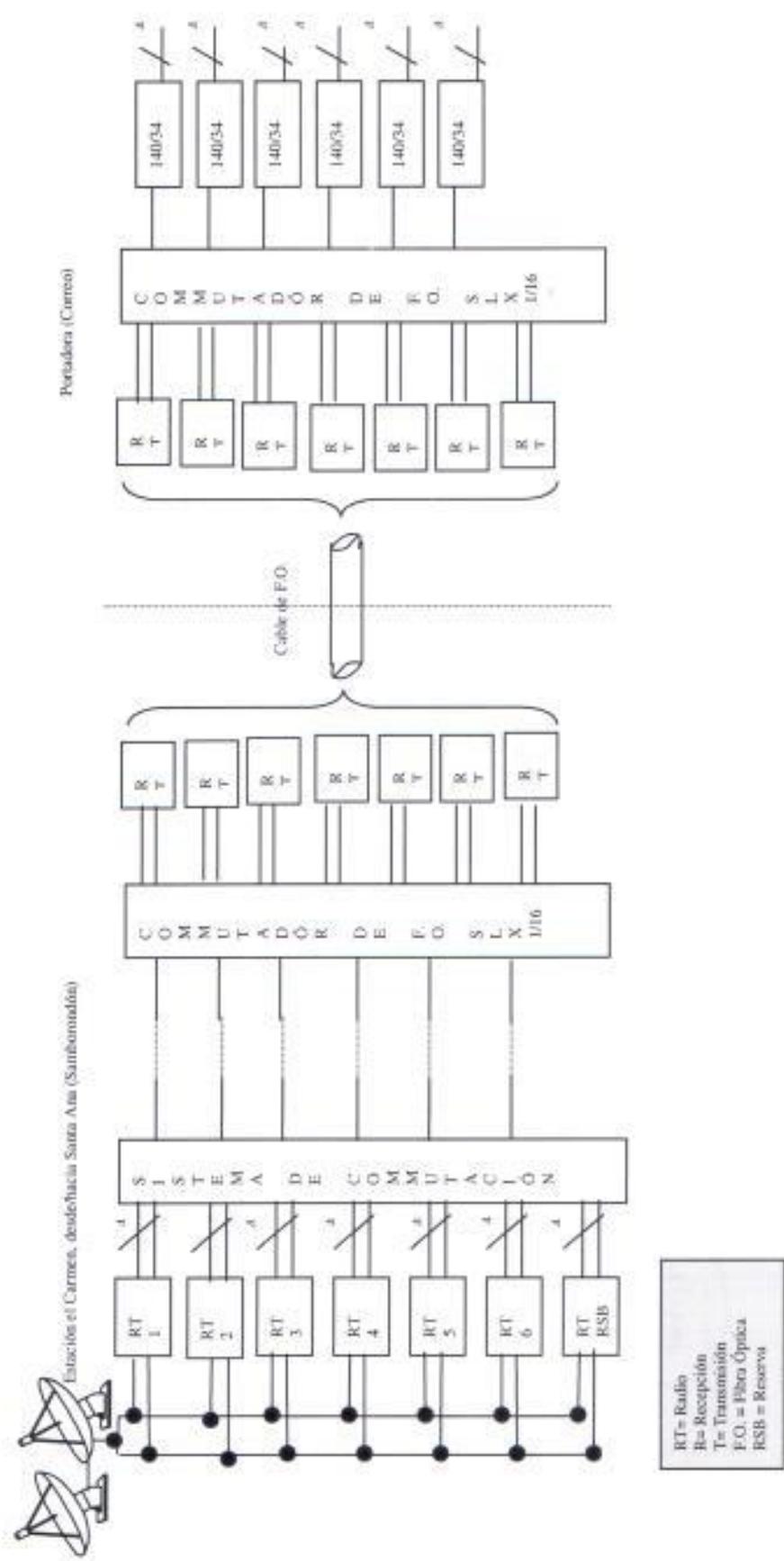


Fig. 1.1a: Situación actual del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborombón) (extremo Guayaquil)

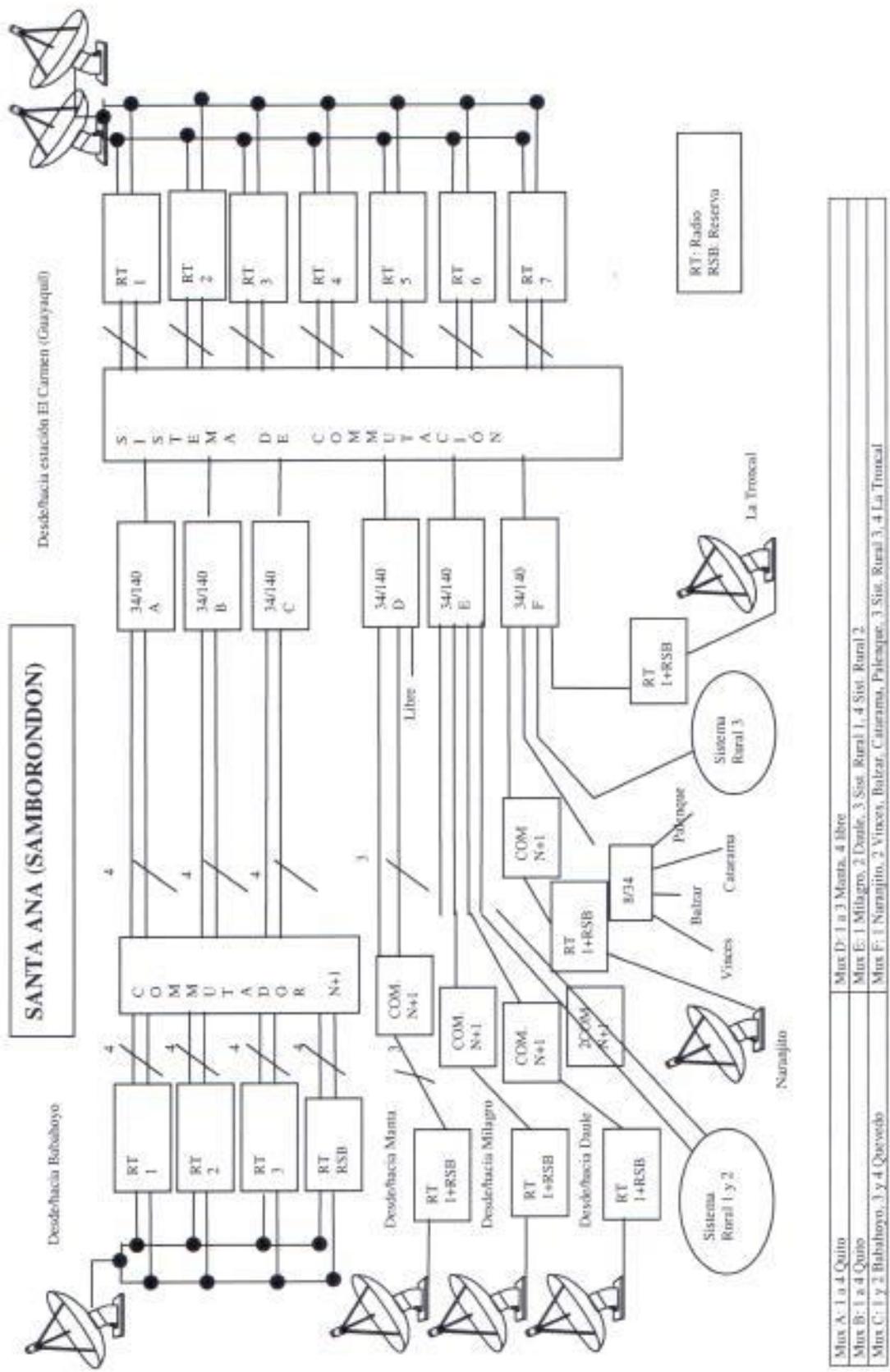


Fig. 1.1b: Situación actual del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) (extremo Santa Ana)

Mux A: 1 a 4 Quito	Mux D: 1 a 3 Manta, 4 libre
Mux B: 1 a 4 Quito	Mux E: 1 Milagro, 2 Daule, 3 Sist. Rural 1, 4 Sist. Rural 2
Mux C: 1 y 2 Bababoyo, 3 y 4 Quevedo	Mux F: 1 Naranjito, 2 Vinces, Balzar, Catarema, Pilesaque, 3 Sist. Rural 3, 4 La Troncal

1.2 SITUACIÓN PROPUESTA

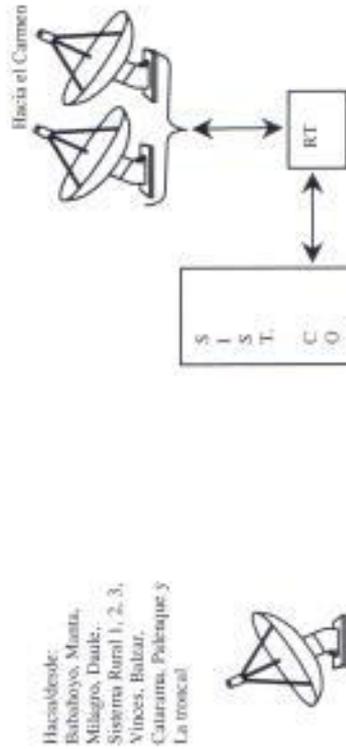
Como cada día se van ampliando las poblaciones y las necesidades de los usuarios se incrementa, que poco a poco el servicio de microondas se convierte en un recurso limitado para cubrir las demandas exigidas por ellos.

El diseño tipo diversidad de ruta con tecnología SDH esta compuesto de dos puntos, el uno es el que se encuentra en el cerro de Santa Ana (Estación Portadora) y el otro que esta localizado en el edificio del correo (Portadora). Como el enlace es por diversidad de ruta, existen dos caminos, donde uno es opcional. En la figura 1.2a muestra la situación propuesta, análisis 1, para el enlace entre la portadora (correo) – portadora del cerro Santa Ana (Samborondón) utilizando equipos que manejan 6 tributarios eléctricos de 140 Mbps, y en la figura 1.2b se muestra la situación propuesta, análisis 2 para el enlace entre Guayaquil y Santa Ana, utilizando equipos que manejan tributarios eléctricos de 34 Mbps.

De esta manera nuestro diseño se proyecta con fines futuros, prestando nuevos servicios además de una mayor capacidad de información y velocidad. Para ello se ha escogido un cable de fibra óptica auto soportado con 24 hilos y un equipo de SDH de características SLA16, con sus respectivos multiplexores y accesorios.

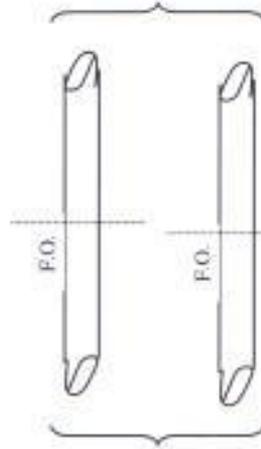
Para la instalación o tendido de cable se ha escogido para el diseño tipo anillo que el un camino se lo haga por canalizado y el otro camino por la postería eléctrica, para la realización del tendido del cable se deben contratar a empresas que se encargan en la elaboración de la construcción de los conductos y subconductos, además de la inspección de que este limpios, y lubricados para que el cable sea enviado por medio de tiradores de cables utilizando fuerza de tracción, se debe colocar pozos para colocar los empalmes, cada cierta distancia. Mientras que en el tendido de cable soportado de fibra óptica aéreo se utilizan postería eléctrica con los correspondientes accesorios.

SANTA ANA (SAMBORONDON)



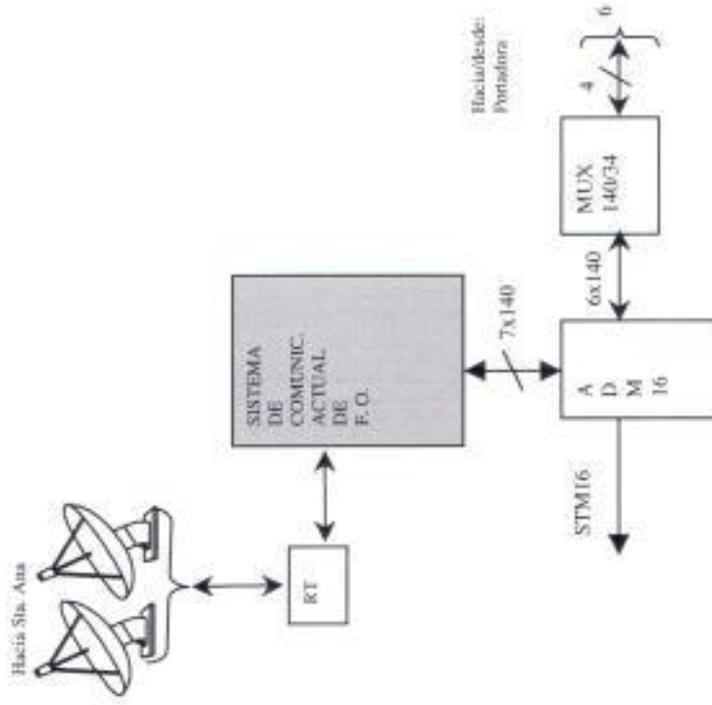
Hacia/desde:
Borboyo, Manta,
Milagro, Daule,
Sistema Rural 1, 2, 3,
Vinces, Balzar,
Catarman, Palenque y
La tropical

Trayecto aéreo



Trayecto canalizado/enterrado

GUAYAQUIL



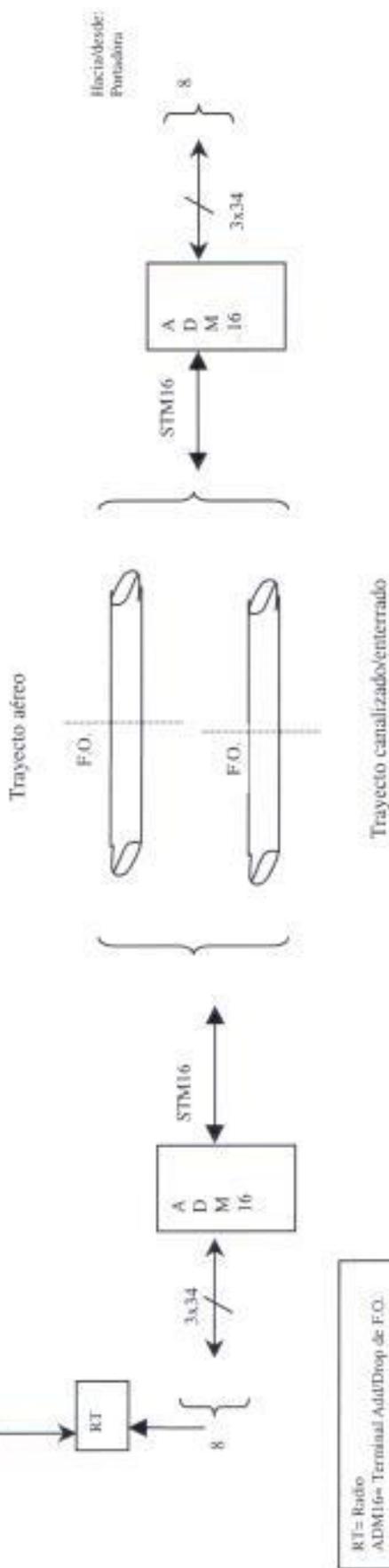
RT= Radio
COM= Comandante
ADM16= Terminal Add/Drop de F.O.
MUX= Multiplexor

Fig. 1.2.a: Propuesta 1 del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) , utilizando tributarios eléctricos de 140 Mbps con redundancias

Haciendas:
Bakobayo, Mauna,
Miyago, Dook,
Sierra Rural 1, 2, A,
Vicos, Dalasi,
Caaceras, Falsique y
La Trinidad

SANTA ANA (SAMBORONDON)

GUAYAQUIL III.



RT = Radio
ADM16 = Terminal AdidDrop de F.O.

Fig. 1.2b: Propuesta 2 del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón), utilizando tributarios eléctricos de 34 Mbps

CAPITULO 2

FIBRA OPTICA

2.1 CARACTERÍSTICAS

Comparado con la transmisión convencional que utiliza cables metálicos, el sistema de transmisión de fibras ópticas posee varias ventajas:

- 1.- **Bajas pérdidas:** Comparada con el cable en pares de cobre o el cable coaxial (0.2 dB/Km).
- 2.- **Banda ancha:** mediante la fibra óptica se puede transmitir en general señales de frecuencia más alta que en el cable coaxial.
- 3.- **Diámetro pequeño y peso liviano:** Por ejemplo, la sección transversal de 18 fibras ópticas es de aproximadamente 1/30 de la correspondiente a 18 cables coaxiales y el peso de 18 fibras ópticas es de aproximadamente 1/120 del peso correspondiente a 18 cables coaxiales.

2.1.1 Composición de la Fibra Optica

Una fibra óptica consiste de un material transparente cilíndrico y largo que confina y propaga ondas luminosas (ver Fig. 2.1).

Como se puede apreciar, está compuesta de tres capas diferentes: el núcleo central que lleva la luz, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro del núcleo, y el recubrimiento que dota de protección al revestimiento. El revestimiento y el recubrimiento se los denomina también protección primaria y protección secundaria respectivamente. El núcleo y el revestimiento están formados frecuentemente por vidrio de sílice, mientras que el recubrimiento es un plástico o una cubierta acrílica.

Cantidades de materiales, como el boro o germanio en las capas del núcleo y del revestimiento que son añadidos en el proceso de fabricación, alteran las características del índice de refracción de ambas capas, dando lugar a las propiedades de confinamiento de la luz necesarias para la propagación de los rayos.

El índice de refracción del núcleo de sílice tiene un valor alrededor de 1.5 y el del revestimiento es ligeramente menor, alrededor de 1.48.

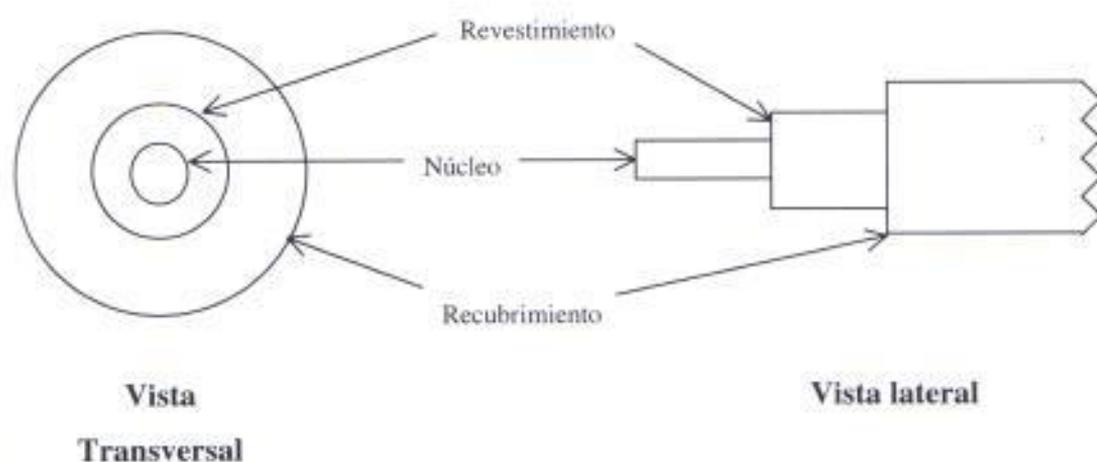


Fig. 2.1: Vista transversal y lateral de una Fibra Óptica

Actualmente, organismos internacionales como el CCITT y el IEC han normalizado las características geométricas de la F.O. empleadas en comunicaciones.

2.1.2 Diámetros usuales de la fibra

Las fibras ópticas que se usan en las telecomunicaciones se fabrican en cinco grupos principales, especificándose el tamaño de la fibra con el formato núcleo/revestimiento.

1.- Núcleo: 8 a 10/125 μm

Una fibra que tenga éste tamaño se conoce como fibra monomodo, pudiendo propagar la mayor tasa de datos con la más baja atenuación. Se utiliza frecuentemente para la transmisión de datos a alta velocidad o para largas distancias. Debido al pequeño diámetro de su núcleo, el equipamiento óptico utiliza conectores de alta precisión y fuentes láser.

2.- Núcleo: 50/125 μm

La fibra cuyo tamaño de núcleo es 50/125 μm fue la primera fibra de telecomunicaciones. Su pequeña *apertura numérica* (AN, ver sección 2.1.4) y pequeño tamaño del núcleo hacen que la potencia de la fuente acoplada a la fibra sea la menor de todas las fibras multimodo. Sin embargo, de todas las fibras multimodo, es la que tiene el mayor ancho de banda potencial.

3.- Núcleo: 62.5/125 μm

Esta fibra en la actualidad es la que más se utiliza para la transmisión multimodo, convirtiéndose en estándar para muchas aplicaciones. Tiene un ancho de banda potencial menor que la fibra 50/125, pero es menos susceptible a las pérdidas por microcurvaturas. Su mayor AN y mayor diámetro de núcleo proporcionan un acoplamiento de luz ligeramente mayor que la fibra 50/125.

4.- Núcleo 85/125 μm

Esta fibra tiene una buena capacidad para acoplar luz, similar a la del núcleo de 100 μm y usa el revestimiento de diámetro estándar de 125 μm . Esto permite la utilización de conectores y empalmes estándar de 125 μm con esta fibra.

5.- Núcleo 100/140 μm

Es la fibra más fácil de conectar, debido a que su núcleo es mayor. Es menos sensible a las tolerancias del conector y a la acumulación de suciedad en los mismos. Acopla

la mayor cantidad de luz de la fuente, pero tiene un ancho de banda potencial significativamente más bajo que otras de tamaños de núcleo más pequeños, se la utiliza en requerimientos de baja velocidad de datos. No es muy común y puede ser muy difícil de obtener.

Hay otras fibras con diámetros de núcleos todavía mayores, pero son menos comunes y sus aplicaciones están limitadas, y por lo general se las utiliza para redes de conexiones cortas (entre equipamientos) o en otras aplicaciones diferentes a las comunicaciones de datos.

2.1.3 Proceso de Transmisión de la Luz en la Fibra

Cuando un rayo de luz se propaga sin obstáculos por un medio como el aire o el vidrio, viaja en línea recta. Sin embargo cuando un rayo de luz viaja de un medio a otro, se dobla en la frontera que separa ambos medios. A esta torcedura se le denomina *refracción*. El ángulo con el cual se refracta se denomina *ángulo de refracción*. El ángulo con el cual el rayo de luz choca con la frontera del medio de transmisión se denomina *ángulo de incidencia*. El ángulo de incidencia está relacionado matemáticamente con el ángulo de refracción de acuerdo con la ley de Snell.

La refracción de un rayo de luz ocurre en un extremo de la fibra cuando el rayo pasa del aire al medio que conforma el núcleo de la fibra. Los ángulos de refracción y de incidencia se miden respecto al eje perpendicular a la superficie de separación aire-fibra.

Sólo los rayos que inciden en la superficie aire-fibra con ángulos menores que el *máximo ángulo de acoplamiento* es refractado al núcleo de la fibra y capturados por ella. Los rayos de luz incidentes en la frontera aire-fibra con ángulos mayores que el máximo ángulo de acoplamiento no es capturado por la fibra.

Los rayos de luz que entran en el núcleo con ángulos menores que el máximo ángulo de acoplamiento chocan con la frontera revestimiento - núcleo formando ángulos mayores que el ángulo crítico. Por tanto son nuevamente reflejados de vuelta al núcleo y viajan hasta la nueva frontera recubrimiento - núcleo para ser reflejados de nuevo. El ángulo de reflexión de un rayo de luz es igual al ángulo de incidencia en la frontera. Siempre y cuando la fibra se mantenga recta, ocurrirá la reflexión total interna y todos los rayos de luz se propagarán por la fibra. Si la fibra se dobla el ángulo de incidencia decrece en el doblez.

Los fabricantes de fibra especifican el radio de curvatura mínimo para asegurarse que la fibra no pierde una fracción mínima de potencia en el doblez. Este radio debería respetarse en todo momento para asegurar las mínimas pérdidas de luz y para prevenir el deterioro de la fibra.

2.1.4 Apertura Numérica

La apertura numérica de la fibra se la abrevia con las letras (AN) y está relacionada matemáticamente con el máximo ángulo de acoplamiento.

AN = sen (ángulo máximo de acoplamiento)

$$AN = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del revestimiento

Ángulos máximos de acoplamiento típico para una fibra multimodo varían desde 10 a 30 grados. Valores típicos de AN varían desde 0.2 a 0.5. Normalmente se especifica el valor de AN para una fibra óptica.

Cuando un rayo de luz pasa a través de la superficie de separación entre dos medios, desde un medio con un índice de refracción alto a un medio con un índice de

refracción bajo, el rayo se refracta a la superficie al pasar al segundo medio. A medida que aumenta el ángulo de incidencia del rayo de luz, se alcanza un punto en el cual ya no refracta en más el rayo de luz en segundo medio y es completamente reflejado de vuelta al primer medio. Esto se lo conoce como reflexión total interna, y el ángulo que ocurre esto se lo conoce como ángulo crítico, que se lo determina con la siguiente formula:

$$\text{Ángulo crítico} = \arcsen(n_2 - n_1)$$

Donde, n_1 = índice de refracción del primer material.

n_2 = índice de refracción del segundo material.

2.1.5 Clasificación de la Fibra Óptica

Las fibras ópticas se clasifican de tres formas: por la distribución de refracción, por el modo de propagación y por el material con que se fabrican. A continuación se presenta la tabla.

Tabla 2. 1: Clasificación de la Fibra Óptica

TIPOS DE FIBRA ÓPTICAS	DENOMINACIONES DE LAS FIBRAS
Por Índice de Refracción	Fibra óptica de índice gradual Fibra óptica por índice escalonado
Por Modos de Propagación	Fibra óptica monomodo Fibra óptica multimodo
Por el Tipo del Material del Núcleo y del Revestimiento	Núcleo de silicio. Revestimiento de silicio. Núcleo de silicio. Revestimiento de plástico. Núcleo de plástico. Revestimiento de plástico.

1.- Según la distribución del índice de refracción

La F.O. por la diferencia de la distribución se puede dividir en dos clases principales:

- Fibra óptica de índice escalonado, donde el índice de refracción se cambia en forma escalonado entre el núcleo y el revestimiento (STEP INDEX TYPE SI) adoptando la forma de una escalera o ángulo agudo.
- Fibra óptica gradual, donde la distribución del índice de refracción se cambia gradualmente (fibra óptica del tipo GI) (GRADED INDEX TYPE GI). En este caso el índice de refracción en el núcleo disminuye continuamente a medida que se aleja desde el eje central de la fibra.

También la fibra óptica del tipo SM (Single Mode) corresponde a la categoría de la fibra óptica del tipo SI. La diferencia de la relación del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento es muy pequeña y tiene por objeto propagar la luz en un solo modo. En el tipo escalonado, el índice de refracción cambia entre el núcleo y el revestimiento metálico de la fibra óptica adoptando la forma de una escalera o ángulo agudo. En el tipo de índice graduado, el índice de refracción en el núcleo disminuye continuamente a medida que se aleja desde el eje central de la fibra.

Por lo tanto los rayos que se alejan del eje central se centran en torno al núcleo en forma de curva sinusoidal y se forma de zig-zag en la fibra.

2.- Según el modo de propagación

Es un método de una onda luminosa de acuerdo con la Teoría Electromagnética de Maxwell, y puede considerarse que cada rayo corresponda un modo. Se puede clasificar en dos clases:

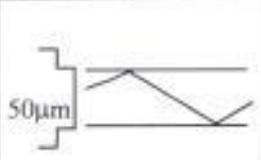
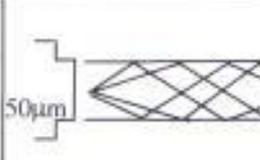
- **Fibra óptica de modo simple SM:** El diámetro de la fibra monomodo es aproximadamente $10\mu\text{m}$, donde sólo existe un solo modo de propagación.

- **Fibra óptica multimodo:** El núcleo de esta fibra es de aproximadamente $50\mu\text{m}$ y existe más de un modo de propagación en esta fibra.

Dados que las características del tipo SM son pérdidas bajas y banda ancha, este se utiliza para sistemas de transmisión de larga distancia de tamaño F-1000 o más grandes.

El tipo Gi es menos costoso que el tipo SM y es usado para sistemas de transmisión de corta distancia.

Tabla 2. 2: Clasificación de la Fibra Óptica

	INDICE ESCALONADO		INDICE GRADUAL
	F. MONOMODO	F. MULTIMODO	F. MULTIMODO
Perfil del índice refractivo y modo de propagación de $50\mu\text{m}$			
Diámetro del núcleo	5 a $10\mu\text{m}$	50 a $85\mu\text{m}$	50 a $85\mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	$125\mu\text{m}$	$125\mu\text{m}$	$125\mu\text{m}$
Atenuación óptica	3 dB/km para una longitud de onda de 0.85 y 0.2-1 dB/km. Para longitudes de 1.3 y $1.5\mu\text{m}$		3 dB/km para una longitud de onda de 0.85 y 0.2-1 dB/km. para longitudes de 1.3 y $1.5\mu\text{m}$
Diferencia del índice refractivo	Aprox. 0.3%	Aprox. %	Aprox. 1%
Ancho de banda de transmisión	Más de 10Ghz	10 – 50 Mhz/km	Cientos de Mhz/km a varios Ghz/km

3.- Según el material del dieléctrico

La fibra según el material dieléctrico, se puede clasificar en varias clases: Fibra óptica de vidrio (está constituida de vidrio de cuarzo), fibra óptica de múltiples componentes (está constituida por el medio de multicomponentes) y las fibras ópticas de plástico. Las fibras de vidrio de cuarzo contienen Flúor (F), Boro (B) y Germanio(Ge), etc.: como diversas clases de aditivo para cambiar el índice de refracción, aparte del cuarzo que está constituido por $SiO_2 = Si$: Silicio, O oxígeno, que es el componente principal.

La fibra óptica por multicomponentes se compone principalmente por la cal sodada, el vidrio, etc. Se usa el metal alcalino del calcio (Ca) y sodio (Na), etc., como aditivo. El material de la fibra óptica de plástico, puede ser resina silicona, resina acrílica, etc. También existe la fibra óptica que se usa en la red de telecomunicaciones, es de la fibra de vidrio, que es excelente su estabilidad de fase en un período largo y la característica de transmisión en que se consigue fácilmente bajas pérdidas. En la siguiente tabla se presenta los materiales con que se fabrican las fibras ópticas.

Tabla 2. 3 Clasificación de la F.O. según el Material.

CLASIFICACIÓN	MATERIAL DE COMPOSICION
Fibra de sílice	SiO_2 + dopantes (Ge, P, B, F, etc.)
Fibra con núcleo de sílice y revestimiento de plástico	Núcleo: SiO_2 Revestimiento: resina Silicona
Fibra de vidrio multicompuesta	Cristal de Boro-Silicato
Fibra de plástico	Varios tipos de plástico

2.1.6 Característica de Transmisión de la Fibra Óptica

En un sistema de transmisión vía cable de fibra óptica, la velocidad de transmisión y la distancia entre repetidores están determinadas según:

- Pérdidas óptica.
- Banda de transmisión

1.- Pérdida Óptica

Es una manera que indica cuando se atenúa la potencia de la luz, cuando se propaga dentro de la fibra óptica. Cuanto más baja es la pérdida, ponemos tx la señal a una mayor distancia. En la siguiente figura se puede apreciar como se calcula la pérdida óptica en la fibra óptica.

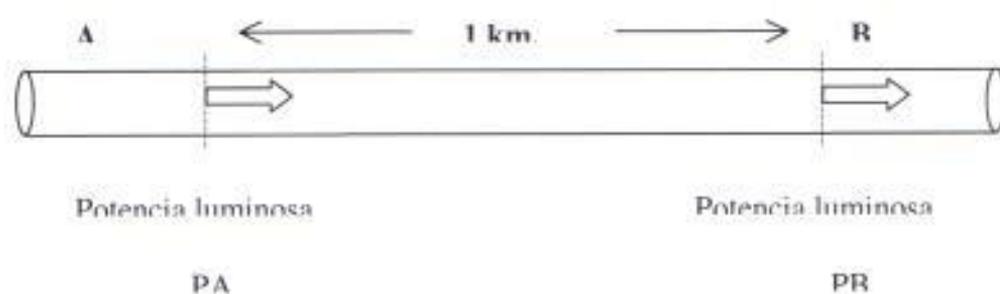


Fig. 2.2: Pérdida Óptica

$$\text{Pérdida} = -10 \log PB/PA$$

Clases de Pérdidas Ópticas

Las pérdidas ópticas se pueden clasificar principalmente en:

1) Pérdidas básicas de la fibra óptica.

Pérdida por absorción.

Pérdida por dispersión de Rayleigh.

Pérdida por dispersión debido a las imperfecciones estructurales.

2) Pérdidas agregadas: Cuando la fibra óptica se integra a un sistema de transmisión

Pérdidas por flexión.

Pérdidas por microflexión.

Pérdida por empalme

Pérdida por acoplamiento.

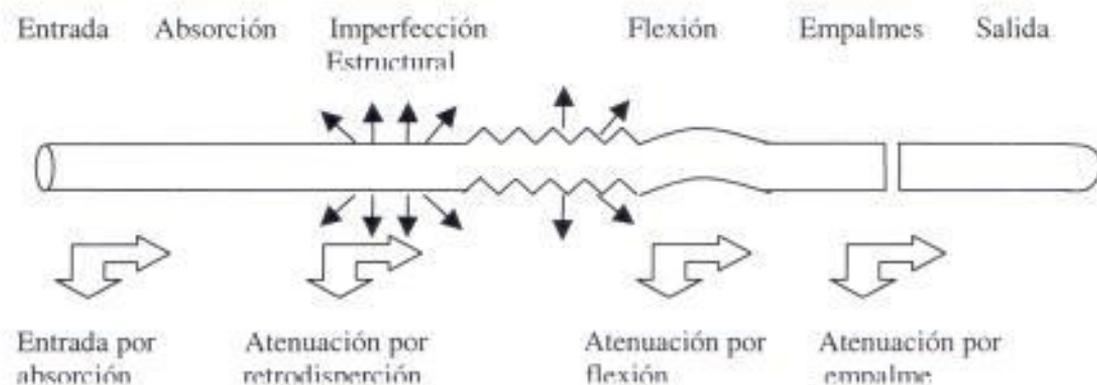


Fig. 2.3: Diferentes Factores de la Pérdida Óptica

En esta fig. 2.3 se presenta un esquemático general de los diferentes factores que proporcionan degradación o pérdidas de la luz a través de una fibra óptica.

Pérdida de absorción

La pérdida por absorción es la pérdida que se produce al convertir la luz en calor. La luz que se propaga dentro de la fibra óptica es absorbida por la propia materia de la fibra óptica y se transforma en calor.

La pérdida por absorción generalmente incluye pérdidas ópticas por absorción propia del vidrio (SiO_2) y absorción por impurezas contenidas en el vidrio (OH ion).

Pérdida por dispersión de Rayleigh

Es el fenómeno que sucede cuando la luz choca con partículas pequeñas comparadas con su longitud de onda. La luz se refleja en todas direcciones.

La dispersión de Rayleigh se debe a fluctuaciones microscópicas del índice de refracción en el núcleo, siendo esta pérdida inversamente proporcional a la longitud de onda (λ).

Este cambio del índice es la causa de la dispersión de Rayleigh que se genera dentro de la fibra óptica y es el factor de la pérdida óptica propia para la fibra, que no se puede evitar durante el proceso de fabricación.

Pérdidas debido a las imperfecciones estructurales.

En la práctica la fibra óptica, no siempre se forma el núcleo y el revestimiento de forma cilíndrica uniforme perfectamente con la longitud de onda.

En general existen diversas concavidades y convexidades microscópicas entre las paredes del núcleo y del revestimiento, que causan dispersión de la luz. Alguna luz no se propaga dentro del núcleo, y se irradia en el revestimiento. A esta pérdida se la llama "pérdida por dispersión de imperfección geométrica de la F.O."

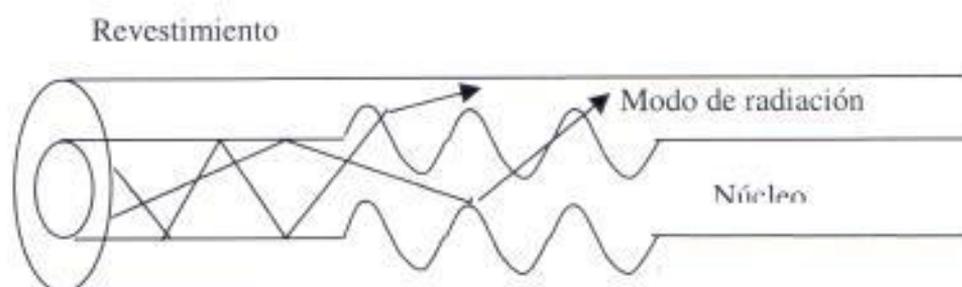


Fig. 2.4: Pérdida Óptica por Imperfecciones Estructurales

Pérdidas por flexión

Esta pérdida ocurre cuando doblamos la fibra, como se observa en la figura. El rayo de luz que entra en la superficie límite entre el núcleo y el revestimiento en un ángulo menor que el ángulo crítico, es radiado fuera del núcleo de la fibra óptica que ha sido doblada.

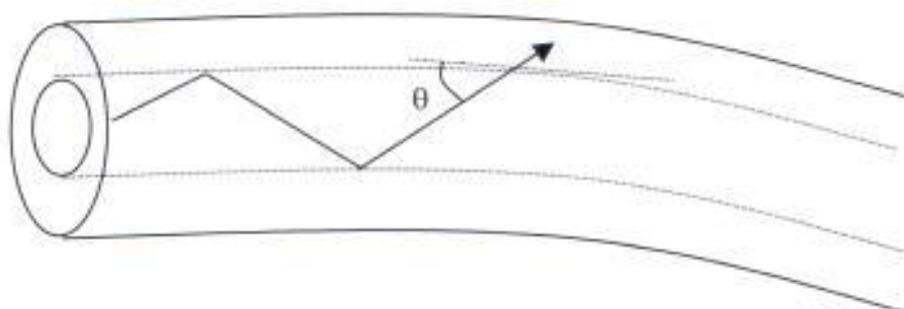


Fig. 2.5: Pérdida por Flexión

Pérdidas por Microflexión

Esta pérdida es generada por la flexión del eje de la fibra óptica en el orden de algunos micromilímetros cuando presiones iguales son aplicadas a la fibra

Pérdidas por Empalme.

La pérdida por empalme es causada por la diferencia entre los núcleos y los ángulos entre dos fibras empalmadas, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

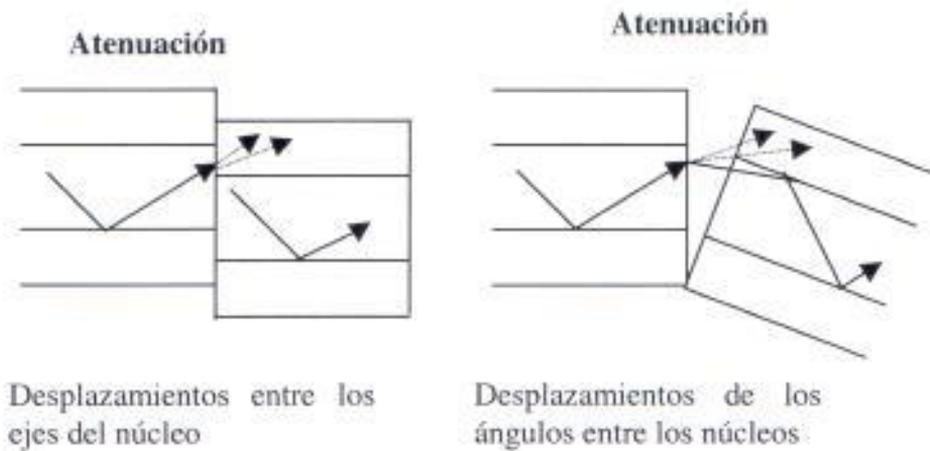


Fig. 2.6: Pérdida por empalme

Pérdidas por acoplamiento con los dispositivos emisores de luz y receptores

La pérdida óptica por acoplamiento es causada cuando se conecta una fuente de luz (LASER o LED) o un receptor de luz (APN o PIN) a una fibra óptica.

También existen pérdidas de acoplamiento cuando se conectan a la fibra dispositivos tales como atenuadores, acopladores y otros.

Como se sabe que las condiciones para el viaje de la luz de un dispositivo emisor de luz, está determinado por la apertura numérica NA, comparando el LD y el LED son diferentes en el ancho de luz del elemento generador de luz y el LD es mejor que el LED en acoplamiento de pérdidas. El acoplar fibras ópticas con dispositivos receptores de luz, las fibras con gran NA, tipo GI tienen mayores pérdidas de acoplamiento que los tipos SM.

Tabla 2. 4: Causas de las Pérdidas Ópticas

	Nombre de la pérdida	Causas de pérdidas
Pérdidas internas(propias de las fibras)	Pérdida por absorción.	Rayos ultravioletas, rayos infrarrojos, absorción de iones OH y las impurezas contenidas en el vidrio.
	Pérdidas por absorción Rayleigh	Las partículas de los rayos de luz se reflejan en todas direcciones.
	Pérdidas por imperfecciones estructurales.	Por deformaciones microscópicas en el límite del núcleo y el revestimiento.
Pérdidas externas (agregadas después de la instalación)	Pérdidas por flexión.	Cuando se dobla el cable, produce un ángulo menor al ángulo crítico.
	Pérdidas por empalme.	Presiones desiguales aplicadas a la fibra después de la instalación.
	Pérdidas por acoplamiento.	Diferencias de núcleos Y ángulos después del empalme. Conexión de emisores y detectores ópticos.

Características de las pérdidas ópticas en función de la longitud de onda.

En la fig.2.7 se muestran las pérdidas ópticas en función de la longitud de onda.

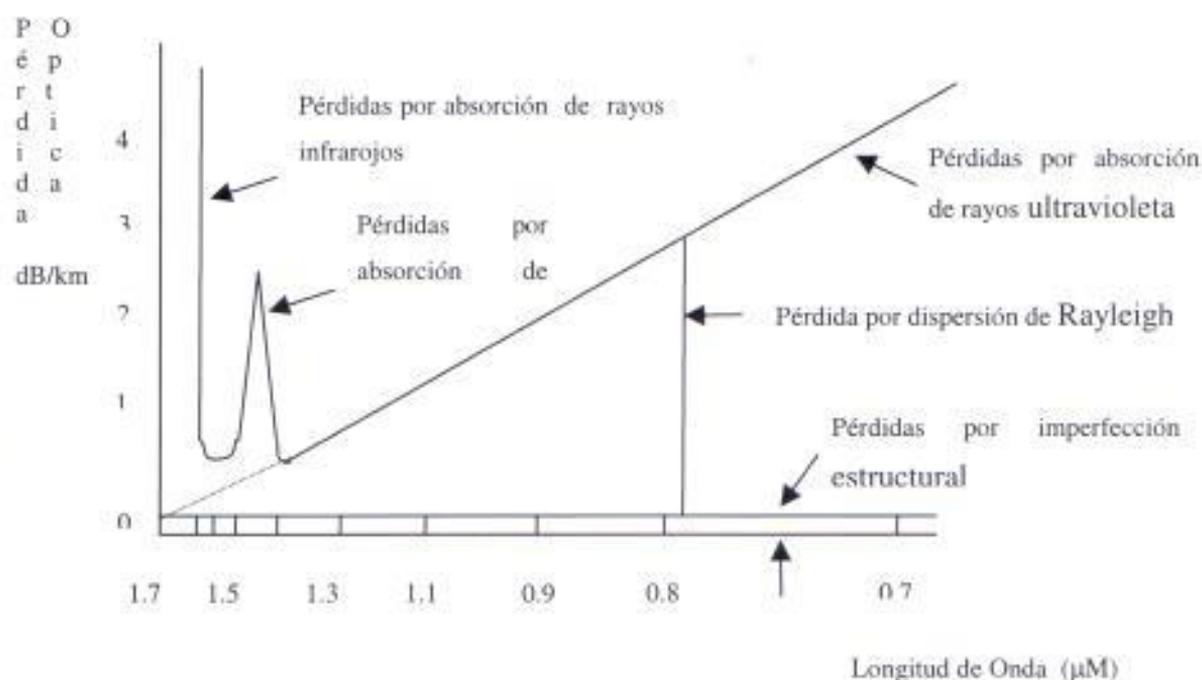


Fig. 2.7: Pérdidas ópticas en función de la longitud de onda

La pérdida óptica por esparcimiento de Rayleigh, está representada por la línea recta.

La pérdida por dispersión estructural e la gramática no representa características alguna con respecto a la longitud de onda. Las diferentes líneas rectas y curvas en la gráfica representan las características de las pérdidas por absorción. En un medio uniforme, el índice de refracción varía con la longitud de onda, resultando en la variación de la velocidad de propagación con la longitud de onda. La dependencia del índice de refracción sobre la longitud de onda es muy bien conocida en el fenómeno de dispersión a través de un prisma o por los 7 colores que se forman después de la lluvia. Estrictamente hablando, la luz usada en comunicaciones no es de una sola

longitud de onda, sino de longitudes de ondas distribuidas sobre un rango pequeño, como se muestra a continuación

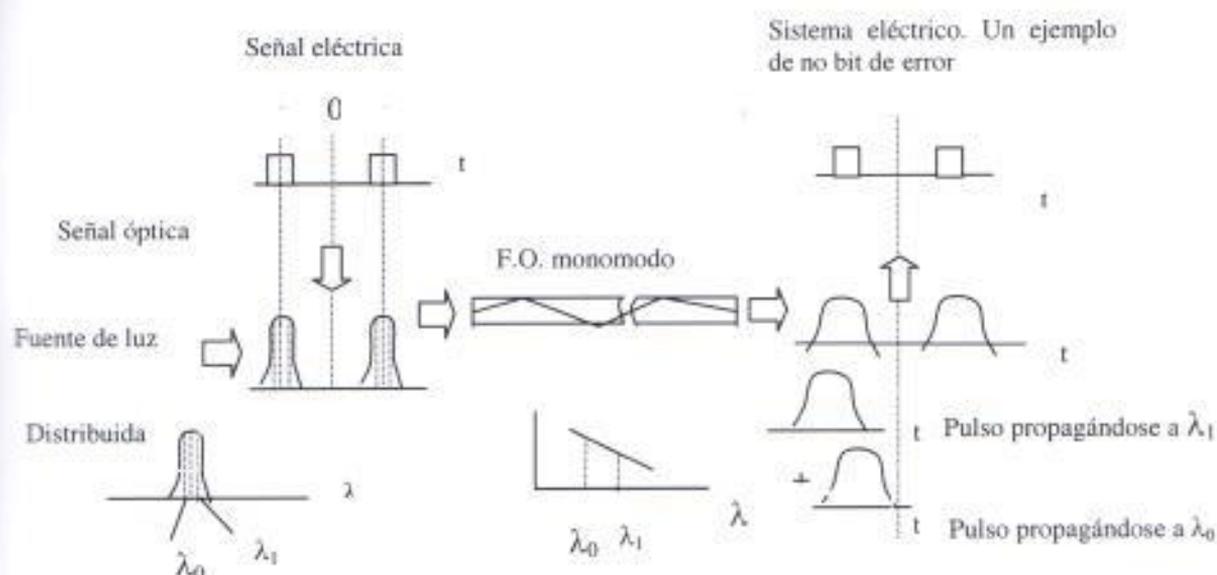


Fig. 2.8: Dispersión por Longitud de Onda

Por esta razón mientras más larga es la longitud, más pequeña resulta ser el índice de refracción, resultando con una velocidad de propagación menor. Este es factor que limita el ancho de banda, en la misma forma que la dispersión por modo, y es llamada dispersión por material.

Cuando la diferencia en el índice de refracción es pequeña, como sucede entre el núcleo y el revestimiento de la F.O., el fenómeno total de reflexión en los bordes de la superficie no es como el que ocurre en una superficie de un espejo, sino que acompaña la infiltración de la luz dentro del revestimiento. Además el grado de infiltración varía con la longitud de onda, resultando en que la longitud de la ruta de propagación cambia con la longitud de onda. Este tipo de dispersión se llama dispersión por estructura. En el campo de las telecomunicaciones por F.O. la

dispersión por material y la dispersión estructural son llamada en conjunto, dispersión por longitud de onda.

Dispersión por modo << Dispersión por material >> Dispersión por estructura

En el caso de las F.O. multimodo, el ancho de banda de transmisión está limitado únicamente por la dispersión por modo y la dispersión por longitud de onda da un pequeño efecto. En cambio las fibras de modo simple, la dispersión por longitud de onda es la causa principal de la limitación del ancho de banda; para fibras SM la longitud de operación es escogido de tal forma que los efectos por dispersión estructural.

2.- Respuesta de la frecuencia de banda base

En la fig.2.9 se muestra que cuando un pulso atraviesa la fibra óptica desde el inicio hasta el final, la forma del pulso a la salida es más ancho con la relación al pulso d entrada. A este fenómeno de ensanchamiento se lo denomina DISPERSIÓN.

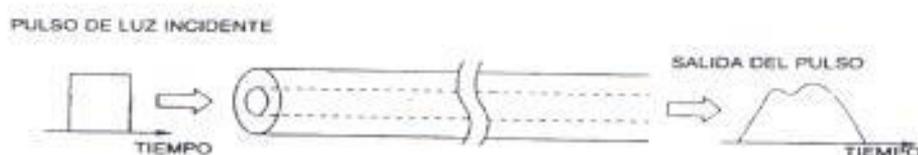


Fig. 2.9: Fenómeno de Dispersión

Cuando la dispersión se observa desde el punto de vista de frecuencia, tenemos que la componente de frecuencia experimenta un cierto grado de atenuación. La relación entre la atenuación y la frecuencia es llamada FRECUENCIA DE RESPUESTA DE BANDA BASE en la fibra óptica.

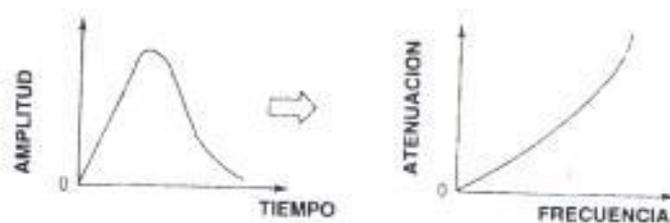


Fig. 2.10: Característica de la Respuesta de la Fibra de Banda Base

Como se ve al incrementarse la frecuencia de modulación de la señal de entrada, la amplitud de la señal de salida se reduce.

La frecuencia cuya amplitud de salida es de 6dB ($1/2$ es menor que la amplitud de modulación de entrada), esta señal es llamada ANCHO DE BANDA DE 6 dB). Las características de la respuesta de frecuencia de banda base en la fibra óptica se presentan en la siguiente gráfica.

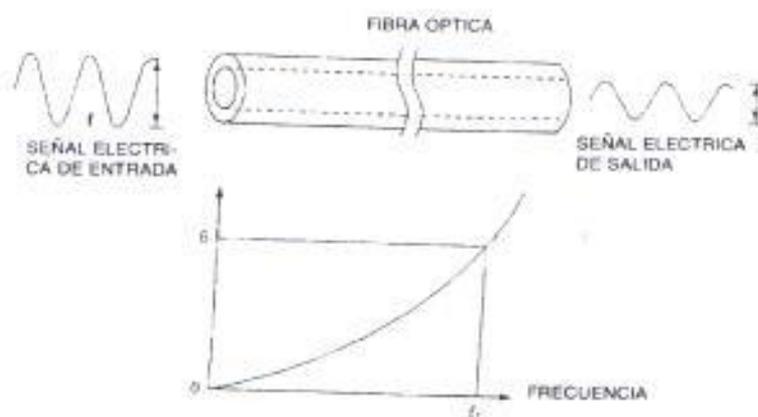


Fig. 2.11: Característica de la respuesta de la fibra de Banda Base de 6 dB de Ancho de Banda

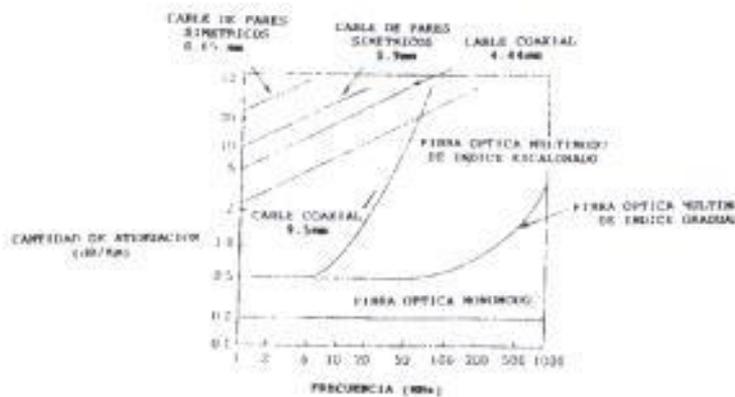


Fig. 2.12: Características de la respuesta de frecuencia de Banda Base en la F. O.

Factores que limitan el ancho de banda en la transmisión por fibra óptica.

La F. O. es usada fundamentalmente para transmitir información de tipo digital. Cuando el pulso de luz se transmite a través de una fibra óptica de cierta longitud, el pulso de salida en el otro extremo es más ancho que el pulso entrante y su amplitud la más baja.

Este ensanchamiento o dispersión se debe a los siguientes factores que son los que limitan el ancho de banda en el transmisor.

Dispersión de modo (Dispersión modal).

Dispersión del material (Dispersión cromática).

Dispersión estructural (Dispersión de guía de onda).

Dispersión por modo

En la fibra óptica multimodo es donde se propagan muchos modos. La anchura del impulso óptico se ensancha debido a las diferentes velocidades del grupo (velocidades de tx) entre los modos de propagación

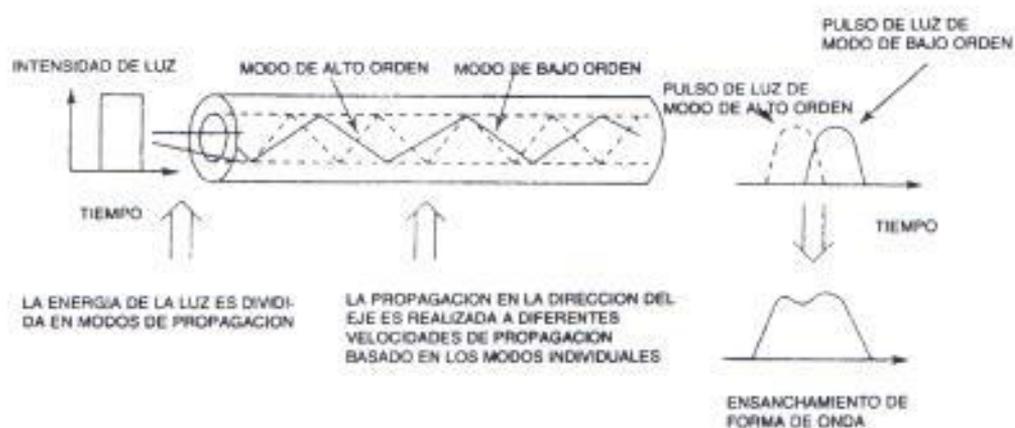


Fig. 2.13: Dispersión por Modo.

En la fig.2.13 se representa la forma en que los diferentes modos de propagación viajan a través de la fibra óptica y como se observa el impulso a la salida.

Dispersión del material

La dispersión del material es la anchura de la forma de onda causada por la diferencia de los índices de refracción según el material utilizado en la fibra óptica y dependiendo de la longitud de onda tal como se aprecia en la fig.2.14

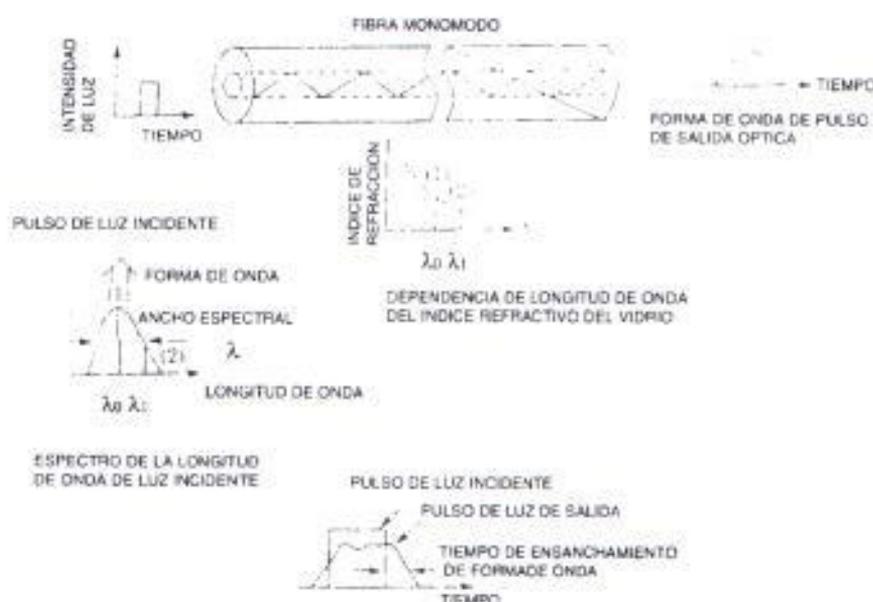


Fig. 2.14: Dispersión del Material

Dispersión de la guía de onda

En caso que la diferencia de los índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento sea pequeña, el fenómeno de la reflexión total no es el mismo en el caso del espejo.

En esta reflexión total, una parte de la luz escapa hacia el revestimiento. La cantidad de luz que entra al revestimiento depende de la longitud de onda, y si esta longitud de

onda se incrementa, la ruta de propagación también se extiende; por lo tanto, el impulso es amplio.



Fig. 2.15: Dispersión de Guía

Como se puede observar en la figura 2.16, la dispersión de modo, es la diferencia de velocidad de grupos entre modos, siendo esta una característica de las fibras multimodo. Los pulsos ópticos corresponden a cada uno de los modos que se propagan por la fibra óptica por diferentes caminos, uno del otro, siendo diferentes los instantes en que llega a la salida cada uno de esos modos. De esta forma es que los pulsos de salida, debido a la dispersión de modo, son más anchos que los pulsos de entrada.

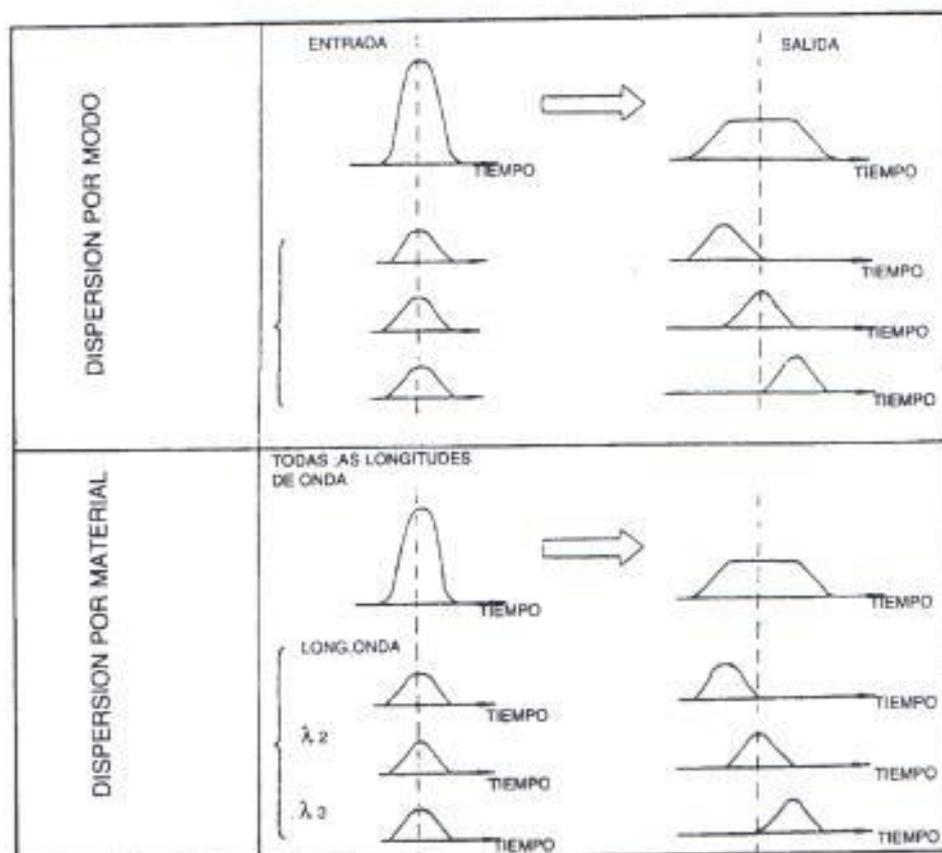


Fig. 2.16: Factores que restringen el ancho de banda

2.2 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

2.2.1 Cables

Cable de figura en 8

Es un cable de estructura holgada con un cable fiador adosado.

El cable fiador es el miembro soporte que se utiliza en las instalaciones aéreas. Es generalmente un cable de acero con alta tracción con un cable comprendido entre 1/4 y 5/8 de pulgada. El cable de figura en 8 se denomina así por que su sección transversal se asemeja al número 8 (ver figura). Se usa en instalaciones aéreas y elimina la necesidad de atar el cable a un fiador preinstalado. Con un cable de figura en 8 la instalación aérea de un cable de fibra óptica es mucho más rápida y fácil.

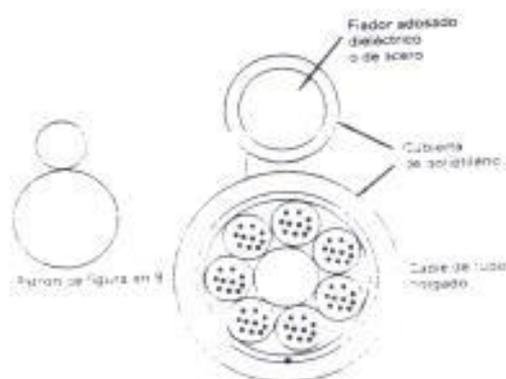


Fig. 2.17: Cable de fibra óptica en figura 8

El fiador se encuentra disponible en acero para alta tracción o en un material completamente dieléctrico. Deberá considerarse la utilización del fiador dieléctrico cuando el cable se instale cerca de las líneas de alta tensión.

Cable Blindado

Estos cables tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno (ver figura 2.18). Esto proporciona al cable una resistencia al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra generalmente en estructura holgada aunque hay cables de estructura ajustada.

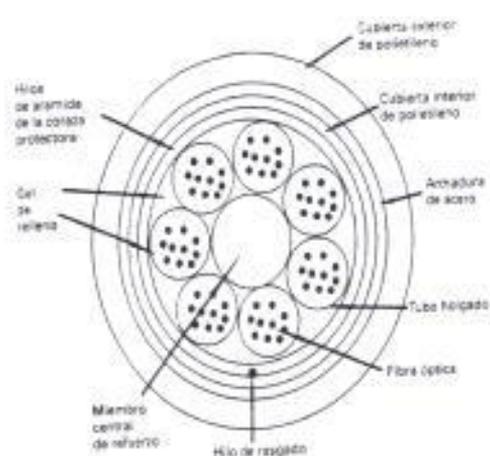


Fig. 2.18: Cable de fibra óptica con armadura

El cable blindado también se puede encontrar disponible con un recubrimiento protector de doble coraza para añadir protección en entornos agresivos. La coraza de acero del cable debería llevarse a tierra en todos los puntos terminales y en todas las entradas a los edificios.

Cable Aéreo o Autosoportado

El cable aéreo o autosoportado es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. Para asegurar el cable directamente a la estructura del

poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

Cable Submarino

El cable es de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

Cable compuesto tierra óptico (OPGW)

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

Cables Híbridos

El cable híbrido es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

Cable en Abanico

Un cable abanico es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado por una conectorización directa y fácil (no se requiere de un panel de conexiones). Se usa fundamentalmente para aplicaciones interiores como redes LAN.

La siguiente tabla proporciona una guía general de las aplicaciones de los cables de fibra óptica.

Tabla 2. 5: Tipos de cable

Aplicación	Cordones de conexión	Cable en abanico	Estructura ajustada Dieléctrica	Estructura holgada con dieléctrico	Estructura holgada con armadura	Estructura ajustada con armadura	Figura en B	Autoportante	Submarino
Conexión directa al equipamiento en la misma habitación o cabina ^{1,2}	X	X	X						
Terminada en panel de conexión									
Entre oficinas de un mismo edificio ²		X	X	X					
Dentro de una planta industrial		X ³	X ³	X ³	X	X			
Alzadas elevadas	X	X			X				
Aérea entre edificios				X			X	X	
Subterránea en conductos				X					
Directamente enterrado					X				
Submarina				X ⁴	X ⁴				X
Cerca de alta tensión			X	X					

¹ Cuando los cordones de conexión van por fuera del armario o cabina del equipamiento, deben situarse en bandejas.

² Siempre se debería utilizar cable ignífugo.

³ Cable situado en un conducto metálico.

⁴ Algunos fabricantes de cable de estructura holgada permiten situar el cable en aguas poco profundas. Consulte los detalles con el fabricante del cable. En caso contrario, será necesario emplear un cable especial submarino.

Composición del cable de fibra óptica

Los cables de fibra óptica se fabrican con varios materiales para adecuarse al entorno de la instalación, lo cual prolonga la vida útil del cable.

Los cables de exteriores deben de ser fuertes, aprueba de intemperie, resistentes al ultravioleta de esa manera impide la descomposición del material interno, resistir las variaciones máximas de temperatura que se puedan dar en el proceso de instalación y a lo largo de su vida. A menudo un cable se especifica en dos rangos de temperatura. El primer rango especifica las temperaturas de instalación y manejo del cable y el otro rango indica el máximo rango de temperaturas del cable después de que éste esté instalado y se halle en su posición estática final.

Los cables de interiores deberán ser fuertes, flexibles y con un grado requerido de resistencia al fuego o de emisión de humos. Los colores de las cubiertas pueden ser naranjas o amarillos brillantes para su fácil identificación. Existen algunos materiales más populares de los cables, que son:

Poliétileno (PE)

El polietileno es una cubierta de protección del cable bastante común para instalaciones exteriores. La cubierta de tipo negro tiene unas buenas propiedades de resistencia frente a la intemperie y la humedad. Es un aislante muy bueno y tiene unas propiedades dieléctricas estables. Dependiendo de su densidad molecular puede ser muy duro y rígido, especialmente a bajas temperaturas. Solo no es un buen material ignífugo, pero podría serlo si se tratara con los compuestos adecuados.

Cloruro de polivinilo (PVC)

Las cubiertas de PVC ofrecen una buena resistencia a los efectos medioambientales, con algunas composiciones que operan a temperaturas comprendidas entre -55 y $+55$ grados centígrados. Es un buen retardador del fuego y se puede encontrar tanto en instalaciones exteriores como en interiores. El PVC es menos flexible que el PE y generalmente más caro.

Poliuretano

El poliuretano es un material bastante común como cubierta de cables. Muchas composiciones tiene buenas propiedades de resistencia al fuego y es más duro y

ligero que otros muchos materiales. Tiene también propiedades de "efecto memoria", haciéndolo una elección ideal para latiguillos retráctiles.

Hidrocarburos polifluorados (fluoropolímeros)

Algunas composiciones de cubiertas basadas en hidrocarburos polifluorados tienen buenas propiedades de resistencia al fuego, poca emisión de humos y tienen buena flexibilidad. Se usan para instalaciones interiores.

Cabos de aramida/kevlar

Los cabos de aramida son un material ligero que se encuentra justo por dentro de la cubierta del cable, rodeando a las fibras, que se puede usar como miembro central de refuerzo. El material es fuerte, se lo utiliza para atar y proteger los tubos o fibras individuales en el cable. El Kevlar es una marca particular de cabos de aramida que es capaz de soportar un esfuerzo mecánico muy grande y que se utiliza frecuentemente en los chalecos antibalas. Los cables de fibra óptica que deben resistir tensiones de estiramiento o tracción elevadas utilizan a menudo el Kevlar como miembro central de refuerzo. Como se sitúa justo por dentro de la cubierta, rodeando todo el interior del cable, proporciona a las fibras una protección adicional frente al entorno. Puede también proporcionar propiedades de resistencia a las balas, que pueden requerirse en instalaciones aéreas del cable en áreas de caza.

Coraza de acero

La cubierta de coraza o armadura de acero se utiliza frecuentemente en instalaciones interiores y exteriores. Cuando se utiliza en un cable enterrado, proporciona una resistencia excelente a la compresión y es el único material verdaderamente a prueba de los roedores. En ambientes industriales se utilizan dentro de la planta cuando el cable se instala sin conductos o bandejas de protección. Sin embargo, el acero que se añade al cable lo hace conductor, con lo que se sacrifica la ventaja como dieléctrico que posee el cable. Los cables con coraza se deben llevar a tierra convenientemente.

Hilo de rasgado

El hilo de rasgado del cable es un hilo muy fino y fuerte que se encuentra justo por debajo de la cubierta del cable. Se usa para rasgar fácilmente la cubierta del cable sin dañar su interior.

Miembro central

El miembro central se utiliza para proporcionar fuerza y soporte al cable. Durante las operaciones de tendido del cable se debe asegurar al orificio de tracción. Para instalaciones permanentes, se debe atar el anclaje que hay para tal cometido en la caja de empalmes o en el panel de conexión.

Relleno intersticial

Es ésta una sustancia gelatinosa que se encuentra en los cables de estructura holgado. Llena la protección secundaria y los intersticios del cable haciendo que éste sea impermeable al agua. Cuando se pele para empalmar el extremo del cable, se debe eliminar completamente con un compuesto especial que existe para tal efecto.

Estructura del Cable de Fibra Óptica

Un cable de fibra óptica se encuentra disponible en dos construcciones básicas que son: Cables de estructura holgada y cables de estructura ajustada.

Cable de estructura holgada

Este cable consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo y rodeado de una cubierta protectora. Lo que identifica este tipo de cable son los tubos, en donde cada tubo de dos o tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras óptica que descansan holgadamente en él. Estos pueden ser huecos, están llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejercen sobre el cable. Las fibras dentro del

tubo son ligeramente más largas que el propio cable, por lo que el cable se puede elongar bajo cargas de tensión, sin aplicar tensión a la fibra.

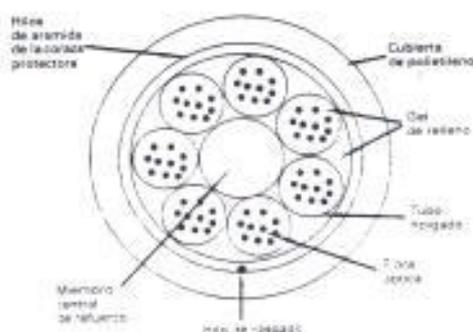


Fig. 2.19: Cable de Tubo Holgado

Cada tubo está coloreado, o numerado, y cada fibra individual en el tubo, además, está coloreada para hacer más fácil su identificación. El número de fibra que lleva cada cable varía desde unas pocas a 200.

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

La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de aramida, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores. La cubierta está secuencialmente numerada cada metro por el fabricante.

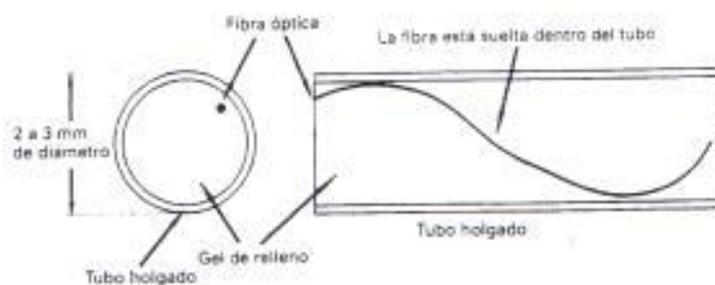


Fig. 2.20: Tubo holgado de cable de fibra óptica

La tensión de tendido y el radio de curvatura de los cables de fibra óptica varían, por lo que deberían consultarse las especificaciones del fabricante, para conocer en particular el cable.

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, el tubo o conductos y en instalaciones directamente enterradas. Estos cables son muy adecuados para las instalaciones en recorridos muy verticales. Porque existe la posibilidad que el gel interno fluya o que las fibras se muevan. Se debe consultar las especificaciones de fabricante para determinar, en cualquier instalación, el recorrido vertical máximo del cable. Estos cables están normalmente terminados en un panel de conexión apropiado o en una caja de empalmes.

Cable de estructura ajustada

Este cable contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción y todo ello cubierto de una protección exterior (ver figura 2.21). La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de $900\mu\text{m}$ de diámetro que rodea al recubrimiento de $250\mu\text{m}$ de la fibra óptica (ver figura 2.22).

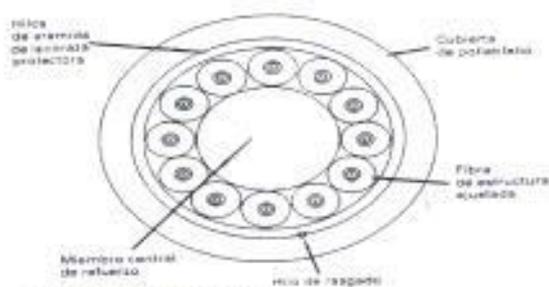


FIGURA 4.3. Cable de estructura ajustada.

Fig. 2.21: Cable de Estructura Ajustada

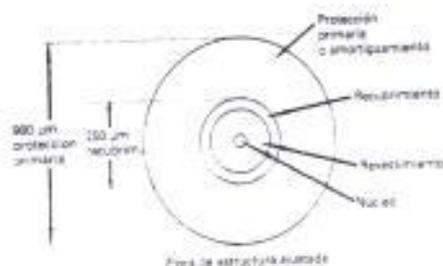


Fig. 2.22: Cable de Fibra Óptica Estructura Ajustada

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

Un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tiene los cables de estructura holgada. Es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios.

También se pueden instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra. Hay disponibles cables con varias graduaciones de pirorresistencia para cumplir los requerimientos estándar de inflamabilidad o combustibilidad. Es de diámetro mayor y generalmente más caro que un cable similar de estructura holgada con el mismo número de fibras.

Procedimiento General de Instalación

El procedimiento general siguiente puede ser utilizado en la mayoría de las instalaciones de fibra óptica.

1.- Completar el proyecto de ingeniería e identifique las características, incluyendo lo siguiente:

- Identificar el recorrido exacto del cable de fibra óptica y asegurarse de que cumple con todas las especificaciones de la instalación. Se debe conseguir la autorización para la instalación del cable de fibra óptica a lo largo de toda la ruta, cuando sea necesario.
- Determinar el tipo de fibra - multimodo, de índice escalón, de índice gradual o monomodo - y diámetro.
- Determinar el tipo de cable - tubo de estructura holgada, ajustada y número de fibra.
- Asegurarse de que el tipo de cable y los equipos son los correctos para el ambiente al que van destinados. Seleccionar cable para exteriores o interiores ignífugos y con una cubierta adecuada.

- Determinar el tipo de conector para la fibra óptica y el procedimiento de conexión del mismo (latiguillo o conexión directa de la fibra).

- Determinar sobre el terreno los requerimientos de localización e instalación para los cables de interconexión, latiguillos, paneles de conexión, conectores y cajas de empalmes.

2.- Identificar todo lo concerniente a seguridad.

3.- Asegurar que se dispone del adecuado equipamiento e instrumentación de ensayo. Estar seguros de que todo el personal está debidamente entrenado en el manejo de cables de fibra ópticas y equipos. Determinar el procedimiento de instalación correcto.

4.- Se debe adquirir el o los cables de fibra óptica que se necesite así como los equipos que se requieran antes de proceder su instalación.

5.- Una que ves recibido el o los cables, revisar el carrete de cable de fibra óptica antes de proceder a su instalación.

6.- Preparar la ruta del cable de fibra óptica e instalar todas la tuberías, conductos y subconductos, cables fiadores y cuanto sea necesario.

7.- Instalar el cable de fibra óptica de acuerdo al proyecto de ingeniería.

8.- Empalmar todos los largos de cable, según se necesiten y ensayar toda la fibra del enlace completo.

9.- Terminar cada fibra del cable óptico con su panel de conexión o cajas de empalmes apropiados y completar la instalación y los ensayos.

10.- Someter a ensayo toda la instalación de fibra óptica.

11.- Instalar todos los equipos terminales ópticos, módems, multiplexores, etc.

12.- Conectar los equipos de prueba en los extremos de la instalación y ensayarla (VER o equivalente).

13.- Registrar todos los datos y detalles que se necesiten.

14.- Preparar lo planes de mantenimiento y reparación.

2.2.2 Fuentes Ópticas

Las fuentes ópticas son consideradas componentes principales de un enlace de fibra óptica y sus características de emisión deben coincidir con el rango de 800 nm a 1600 nm en el cual la atenuación de la fibra óptica tiene la mínima atenuación espectral. En este rango de longitudes de onda se encuentran lo que se denominan ventanas ópticas.

Estas son:

1ra. Ventana: 820 nm a 900 nm.

2da. Ventana: 1300 nm.

3ra. Ventana: 1550 nm a 1660 nm.

Es aconsejable usar la segunda ventana de 1300 nm ya que tanto la atenuación intrínseca y de Rayleigh disminuyen aproximadamente 0.5 dB/Km. y además la dispersión cromática es aproximadamente cero, lo que permite transmitir grandes anchos de banda.

Entre las fuentes luminiscentes más usadas tenemos:

Estructura de los Dispositivos Emisores de Luz (Fuentes Ópticas).

Diodo Led

La estructura básica es la misma heterojuntura que los LEDs. Los electrones fluyen a través de la juntura p-n combinándose con los huecos de la misma manera como en

los LEDs en la capa activa como se muestra en la, y la luz se emite en esta capa debido a la barrera de la heterojuntura. Si embargo, en el caso LEDs, su estructura no permite la amplificación y oscilación de la luz en la capa activa como en los LDs, así que la luz generada en un punto lejano a la superficie límite no puede ser extraída de la superficie fácilmente. Por esto, la luz LED es generalmente extraída desde un lado electrodo.

Las características de los LEDs son: alta confiabilidad, por baja eficiencia en acoplamiento, anchos de banda de hasta 200MHz, anchos espectrales típicos de 40 nm en la primera ventana y 80 nm en la segunda ventana. En consecuencia, una dispersión cromática muy grande.

Diodo Láser

Los LEDs en general están estructurados en tres capas. La oscilación ocurre en la región encerrada entre los cristales semiconductores 'p' y 'n', la cual es llamada capa activa y actúa como un resonador. Como una corriente fluye(se inyecta) desde el lado(+) al Lado(-) de la figura, la luz láser es emitida en la dirección de las flechas.

Como en el método de la oscilación LD en la práctica, se debe prestar atención a las tres capas, las capas 'p' y 'n' y la capa activa puesta entre ellas. Una estructura semiconductor como ésta es llamada doble heteroestructura lo cual significa que hay dos junturas de materiales diferentes. Para comenzar la oscilación láser, se deben satisfacer las siguientes condiciones:

La diferencia de nivel de energía entre la banda de conducción de semiconductor tipo p y la de la capa activa debe de hacerse grande. Además, para el conductor tipo n de la juntura, el nivel de energía de la banda de valencia se hace menor que el de la capa activa.

Cuando una corriente fluye desde la capa p a la capan de semiconductor cuyas junturas están en la condición mencionada, el exceso de electrones en la región 'n' se mueve hacia la región p. Como resultado, existe electrones y huecos en la capa activa

entonces debería ponerse atención en los niveles de energía de la tres capas. Los electrones y huecos inyectados en la capa activa son confinados en el interior debido a una barrera de energía (llamada heterobarrera), la que fácilmente produce el estado de inversión de población y tiene el efecto de incremento en la intensidad de emisión

Luego si el índice refractivo de la capa activa se hace mayor que el de las regiones vecinas, una guía de onda dieléctrica es hecha y la luz es estrictamente confinada en el interior de la capa activa y se propaga en su interior. De esta manera una emisión eficiente es realizada por la combinación del confinamiento de electrones y huecos con la luz en la capa activa.

Las características de los láser son mucho más caros que los LEDs pero por otra parte tienen las siguientes ventajas: ancho de banda elevado(hasta el orden de los GHz), alta eficiencia de acoplamiento y bajo ancho espectral típicamente de 2-3 nm. Esto resulta en baja dispersión cromática y alto ancho de banda del sistema. La desventaja de los láseres son: baja confiabilidad, grandes corrientes más allá de la corriente de umbral, necesitan de enfriamiento y estabilización de potencia.

Tabla 2. 6: Características de los Dispositivos Emisores de Luz

Dispositivo emisor de luz	Led	Fpld	Dfblid
Salida de luz entrada de luz de las fibras ópticas	2.5 mw ≤ 0.05 mw	< 10mw < 3mw	
Ancho de banda del espectro	100 nm	3 nm	≤ 0.5 nm
Respuesta de frecuencia	Algunos cientos de mhz o menos	Algunos ghz o menos	
Vida	Un millón de horas o menos	400 mil horas o menos	

Estructura de los Dispositivos Receptores de Luz

Los dispositivos receptores de luz se clasifican en dos tipos de acuerdo a los voltajes externos aplicados: fotodiodos (PIN-PDs) y fotodiodos de avalancha(APDs).

Receptor PIN-PDS

Los fotodiodos PIN-PDs son PDs típicos. Un PIN es un dispositivo que contiene una capa de semiconductor intrínseco ('i' es la abreviatura de intrínseco) entre dos semiconductores tipo p y tipo n. La anteriormente mencionada corriente de flotación muestra una respuesta rápida debido a un campo eléctrico que es generado en la capa de deplexión. La corriente de difusión generada externamente a la capa de deplexión muestra una respuesta lenta. El ampliar la capa de deplexión es la ventaja más grande con los PDs en términos de eficiencia cuántica y respuesta de frecuencia. El ancho de la capa de deplexión se incrementa como la concentración de electrones en la región 'p' y 'n' disminuye.

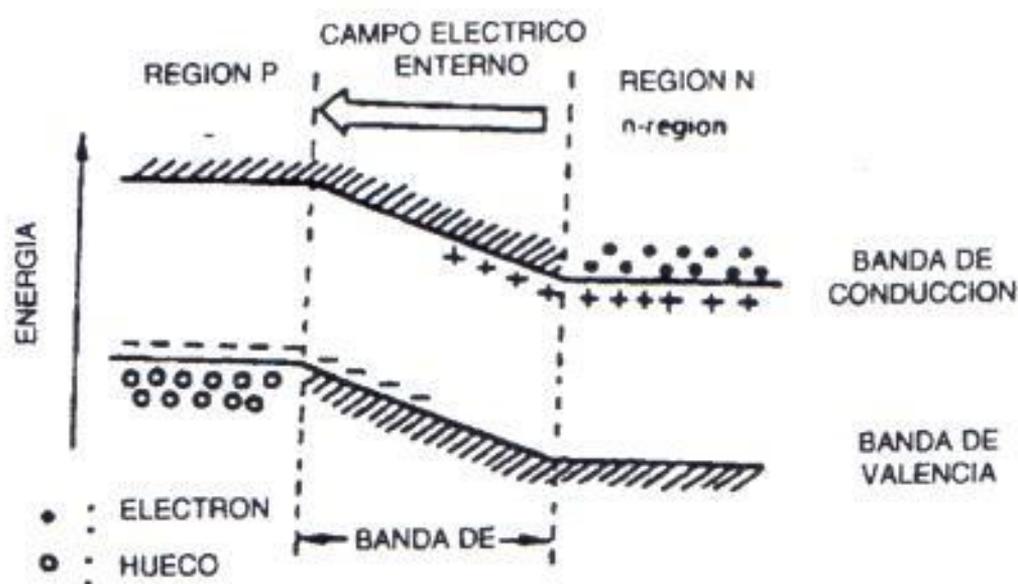


Fig. 2.23: Principio de Operación del PIN-PD y Niveles de Energía

El conductor tipo-i puesto entre los semiconductores 'p' y 'n' desempeña el rol de ensanchamiento del ancho de la capa de deplexión. Los PDs utilizados par sistemas de comunicación son generalmente requeridos por tener respuesta rápida, así que los PIN-PD se utilizan en la mayor parte.

Las características que los fotodiodos PIN- PD: que son utilizados en la tercera ventana óptica, tienen una buena linealidad, ancho de banda y estabilidad pero no muy alta sensibilidad. Además, altos voltajes (20 - 30V) deben de ser aplicados a los APD para alcanzar el factor de multiplicación necesario.

Receptor APD o de avalancha

Los APDs, por otro lado, usan la multiplicación en avalancha de electrones y huecos en semiconductores para obtener corrientes mayores a los PDs. El principio de operación de los APDs se muestra en la figura 2.24.

Estructuralmente, un semiconductor tipo p (la porción indicada como p+ en la figura) con concentración de huecos mayor que los de la región p es sumada al lado 'p' de la juntura pn en general. En ese caso, el campo electrónico interno en la vecindad de la juntura, con su centro en la región p llega a ser muy fuerte.

Electrones que han sido excitados desde la región p+, ganan mucha más energía que la diferencia de energía entre la banda de conducción y la banda de valencia mientras pasan a través de la región p sufriendo aceleración. Como resultado, ellos ganan poder suficiente para excitar los electrones en la banda de valencia para generar nuevos electrones y huecos, estos nuevos electrones y huecos son nuevamente acelerados por el campo eléctrico interno además de generar electrones y huecos. Si este proceso se mantiene si interrupción, el número de electrones y huecos se incrementa a manera de avalancha. Esta es la razón para que el efecto sea llamado multiplicación en avalancha, y su resultado es una amplificación de corriente.

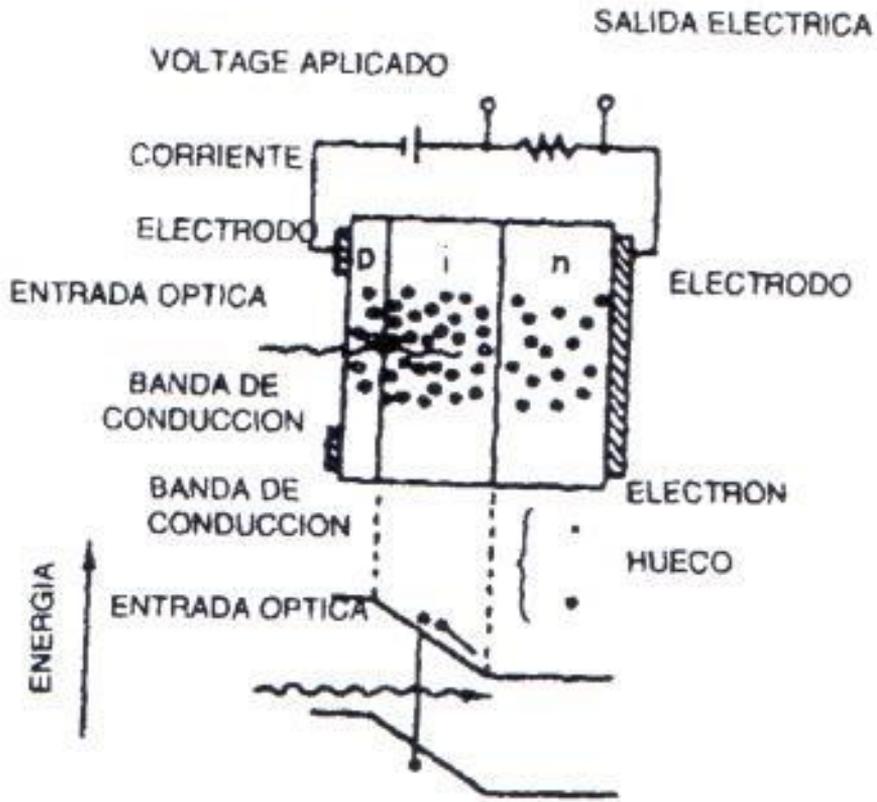


Fig. 2.24: Principio de operación del APD y Niveles de Energía

2.2.3 Conectores

En la actualidad hay un buen número de conectores de fibra óptica disponibles, a continuación se describen los tipos de conectores más habituales que se utilizan para terminar una fibra óptica:

ST.- Es un buen conector, popular para conexiones de fibra monomodo y multimodo, con unas pérdidas en promedio de 0.5 dB.

FC.- Se lo utiliza para fibra monomodo, es un buen conector y se lo conoce también como FC-PC. Tiene bajas pérdidas, con un promedio aproximado de 0.4 dB.

D4.- Este tipo de conector se usa principalmente para fibras monomodos.

SC.- Es un nuevo conector modular, de alta densidad. Tiene bajas pérdidas (por debajo de 0.5 dB) y es bastante común en instalaciones monomodo.

FDDI.- Este conector es el conector estándar de fibra óptica para FDDI. Es del tipo dúplex con llave, conectando dos fibras a la vez.

2.2.4 Empalmes

El empalme de fibra óptica es la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas en una conexión de bajas pérdidas. Esta conexión se puede realizar usando ya sea el método de empalme por fusión o el método de empalme mecánico.

El empalme por fusión proporciona la conexión de pérdidas más bajas. Para realizar el empalme de la fibra esta técnica utiliza un dispositivo denominado *empalmadora de fusión*, la cual alinea con precisión las dos fibras, generando un pequeño arco eléctrico para soldarlas y a la vez una chispa, la misma que puede causar una explosión en presencia de vapores inflamables.

El empalme mecánico es una técnica alternativa de empalmado que no requiere una empalmadora de fusión. Utiliza un pequeño empalme mecánico, aproximadamente de

6 cm de largo y 1 cm de diámetro que une permanentemente las dos fibras ópticas. Un empalme mecánico es un conector de fibra pequeño que alinea dos fibras desnudas de manera precisa y que las asegura mecánicamente.

2.3 VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

Gran capacidad. La fibra óptica tiene la capacidad de transmitir grandes cantidades de información. Con la tecnología presente se pueden transmitir 60.000 conversaciones simultáneas con dos fibras ópticas. Un cable de fibra óptica (2 cm de diámetro exterior) puede contener hasta 200 fibras ópticas, lo que incrementaría la capacidad del enlace a 6000.000 de conversaciones. En comparación con las prestaciones de los cables convencionales, un gran cable multipar puede llevar 500 conversaciones, un cable coaxial puede llevar 10.000 conversaciones y un enlace de radio por microondas o satélite puede llevar 2000 conversaciones.

Tamaño y peso. Un cable de fibra óptica tiene un diámetro mucho más pequeño y es más ligero que un cable de cobre de capacidad similar, haciendo a la fibra más fácil de instalar.

Interferencia eléctrica. La fibra óptica no se ve afectada por la interferencia electromagnética o interferencia de radio frecuencia y no genera por sí misma interferencia.

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

Seguridad. La fibra óptica ofrece un alto grado de seguridad. Una fibra óptica no se puede intervenir por medio de mecanismos eléctricos convencionales como conducción superficial o inducción electromagnética. Los rayos luminosos viajan por el centro de la fibra y pocos o ninguno pueden escapar.

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

Versatilidad. Los sistemas de comunicaciones por fibra son los adecuados para la mayoría de los formatos de comunicaciones de datos, voz y vídeo. Estos sistemas son adecuados para RS232, RS422, V35, Ethernet, Arnet, FDDI, T1,T2, T3, Sonet y muchos más.

Regeneración de la señal. La tecnología presente puede suministrar comunicaciones por fibra óptica más allá de los 70 Km (43 millas) antes de que se requiera regenerar la señal, la cual puede extenderse a 150 Km (93 millas) usando amplificadores láser.

2.4 DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Conversión electro-óptica. Antes De conectar una señal eléctrica de comunicación a una fibra óptica, la señal debe convertirse al espectro luminoso [850, 1.310 0 1.550 nanómetros (nm)]. Esto se realiza por medios electrónicos en el extremo del transmisor, el cual da un formato propio a la señal de comunicaciones y la convierte en una señal óptica usando un LED o un láser de estado sólido. A continuación, esta

señal óptica se propaga por la fibra óptica. En el extremo del receptor de la fibra óptica, la señal óptica se debe convertirse también en una señal eléctrica antes de poder ser utilizada. El coste de conversión asociado a la electrónica debería ser considerado en todas las aplicaciones.

Caminos homogéneos. Se necesita un camino físico recto para el cable de la fibra óptica. El cable se puede enterrar directamente, situar en tubos o disponer en cables aéreos a lo largo de caminos homogéneos. Esto puede requerir la compra o alquiler de la propiedad. Algunos derechos sobre el camino pueden ser imposibles de adquirir. Para localizaciones como terrenos montañosos o algunos entornos urbanos pueden ser más adecuados otros métodos de comunicación sin hilos.

Instalación especial. Debido a que la fibra óptica es predominantemente vidrio de sílice, son necesarias técnicas especiales para la ingeniería e instalación de los enlaces. Ya no se aplican los métodos convencionales de instalación de cables de hilos como, por ejemplo, sujeción, soldadura y wire-wrapping. También se requieren un equipamiento adecuado para probar y poner en servicio las fibras ópticas. Los técnicos deben ser entrenados para la instalación y puesta en servicio de los cables de fibra óptica.

Reparaciones. Un cable de fibra óptica que ha resultado dañado no es fácil reparar. Los procedimientos de reparación requieren un equipo de técnicos con mucha destreza y habilidad en el manejo del equipamiento. En algunas situaciones puede ser necesario reparar el cable entero. Este problema puede ser aún más complicado si hay un gran número de usuarios que cuentan con dicho servicio. Es importante, por ello, el diseño de un sistema propio con rutas físicamente diversas, que permita afrontar tales contingencias. Aunque pueden haber muchas ventajas que favorezcan una instalación de fibra óptica, deberán ser sopesadas cuidadosamente frente a sus desventajas en cada aplicación deberán ser analizados todos los costes de operación e implementación de un servicio de fibra óptica.

CAPITULO 3

SDH

La jerarquía digital sincrónica, fue originalmente inventada por la Bellcore en EEUU, e inicialmente se la llamó red óptica síncrona (SONET: synchronous optical network). Bajo esta tecnología, todos los equipos están sincronizados con un reloj maestro único, la tasa de transmisión básica definida en la SDH es de 155.52 Mbps y se conoce como señal de módulo de transporte sincrónico de nivel I o simplemente STM-1. También se han definido tasas más altas de STM-4 (622 Mbps) y STM-6 (2.4 Gbps).

En la jerarquía SONET con el término **señal de transporte síncrona** (STS: synchronous transport signal) o en ocasiones con el de **señal óptica** (OS: optical signal) se define al equivalente de una señal STM.

3.1 EVOLUCIÓN DEL SDH

Las primeras redes digitales fueron redes asíncronas. En las redes asíncronas, cada fuente de reloj interna de los elementos de red cronometra sus señales transmitidas. Como cada reloj tiene una cierta cantidad de variación, las señales que llegan y se transmiten podrían tener una gran variación en el tiempo, el cual muchas veces resulta en bit de errores.

SDH ha proveído redes de transmisión con independencia de los vendedores y una estructura de señal sofisticada que tiene un rico conjunto de características. Esto ha resultado en una nueva aplicación, el desarrollo de nuevos tipos de equipos en nuevas topologías de red, y manejo por sistemas de funcionamiento de mucha mayor trascendencia que las otras que existían en las redes de transmisión.

3.1.1 PDH

La jerarquía de multiplexamiento PDH apareció bastante simple pero existían complicaciones. Cuando se multiplexaba un número de canales de 2 Mbps allí probablemente había sido creado por diferentes equipos, cada uno generando una tasa de bit ligeramente diferente. Así, antes de que estos canales de 2 Mbps puedan tener bit de entrelazado, todos ellos deben tener la misma tasa de bit añadiendo bits de información "dummy" o "bits de justificación". La justificación de los bits son reconocidos como tal cuando ocurre la demultiplexación, y son descartados dejando la señal original, este proceso es conocido como operación plesiócrona.

3.1.2 Sonet

La necesidad de estándares ópticos llevó a la creación de redes ópticas síncronas (Sonet). Sonet estandarizó la tasa de líneas, codificó esquemas, jerarquizó tasas de bit, y funcionalidad de operación y mantenimiento. Sonet también definió los tipos de elementos de red requeridos, arquitecturas de red que los vendedores podrían implementar, y la funcionalidad que cada nodo debe realizar. Proveedores de red podrían ahora usar equipos ópticos de diferentes vendedores con la confianza de al menos la interoperabilidad básica.

3.1.3 Ventajas de SDH respecto de PDH

Existen muchas ventajas que ofrece la tecnología SDH respecto de PDH, las mismas que describen a continuación.

PDH	SDH
• Es transmisión punto a punto	• Es una red de telecomunicaciones
• Manejo y mantenimiento de la red de manera manual.	• Mantenimiento y administración integrada de redes basadas en estructuras computarizadas.
• Baja capacidad de transporte	• Alta capacidad de transporte
• Interfaz no estándar	• Interfaz estándar internacional
• Cantidad de cables y puntos de conexión excesivos	• Menor cantidad de equipos por enlace
• Técnica de multiplexaje poco flexible	• Estructura de trama modular, alta capacidad de transporte
• Escasa disponibilidad en la trama para la gestión de la red.	• 5% de la trama reservado para información de gestión.
	• Transporta cualquier tributario de los existentes hoy en día.

3.2 ESTRUCTURA DEL FRAME DE SDH

El módulo de transporte sincrónico de primer nivel (STM-1) es la estructura numérica base del SDH, y a través de un proceso de multiplexación de intercalado de octetos se construyen los módulos de transporte sincrónico de nivel superior (STM-N).

3.2.1 STM-1

Al igual que en la PDH, la señal STM-1 se compone de un conjunto repetitivo de tramas que se repiten con un período de 125 μ s. El contenido de información de cada trama puede servir para transportar múltiples flujos PDH de 1.5, 2, 6, 34, 45 o 140 Mbps. Cada uno de estos flujos se transporta en un contenedor distinto que también contiene bits de relleno adicionales que permitirán variaciones en la tasa real. A esto se agrega cierta información de control denominada **gasto extra de camino**, con la cual los administradores de la red pueden vigilar de extremo a extremo la tasa de errores de bit del contenedor asociado. En conjunto, el contenedor virtual y su gasto extra de camino constituyen un **contenedor virtual** (VC: virtual container), y una trama STM-1 puede contener varios VC del mismo tipo o de tipos distintos.

De manera general, se puede decir que cada trama se compone de (Ver Fig. 3.1):

- Una Sección Overhead indicada con las siglas SOH que utiliza los 9 primeros bytes de cada hilera, excepto la cuarta, que normalmente es usada para la transmisión de la información de servicio.
- La Unidad Administrativa (AU-4), la cual consiste de un campo de 261x9 bytes más los 9 primeros bytes de la cuarta hilera del STM-1, en la cual se inserta la carga útil a transportar.

La Unidad Administrativa AU4 está compuesta de un contenedor virtual C4 donde se almacena la real carga útil y un POH que es una sobrecarga que almacena información del trayecto de los flujos.

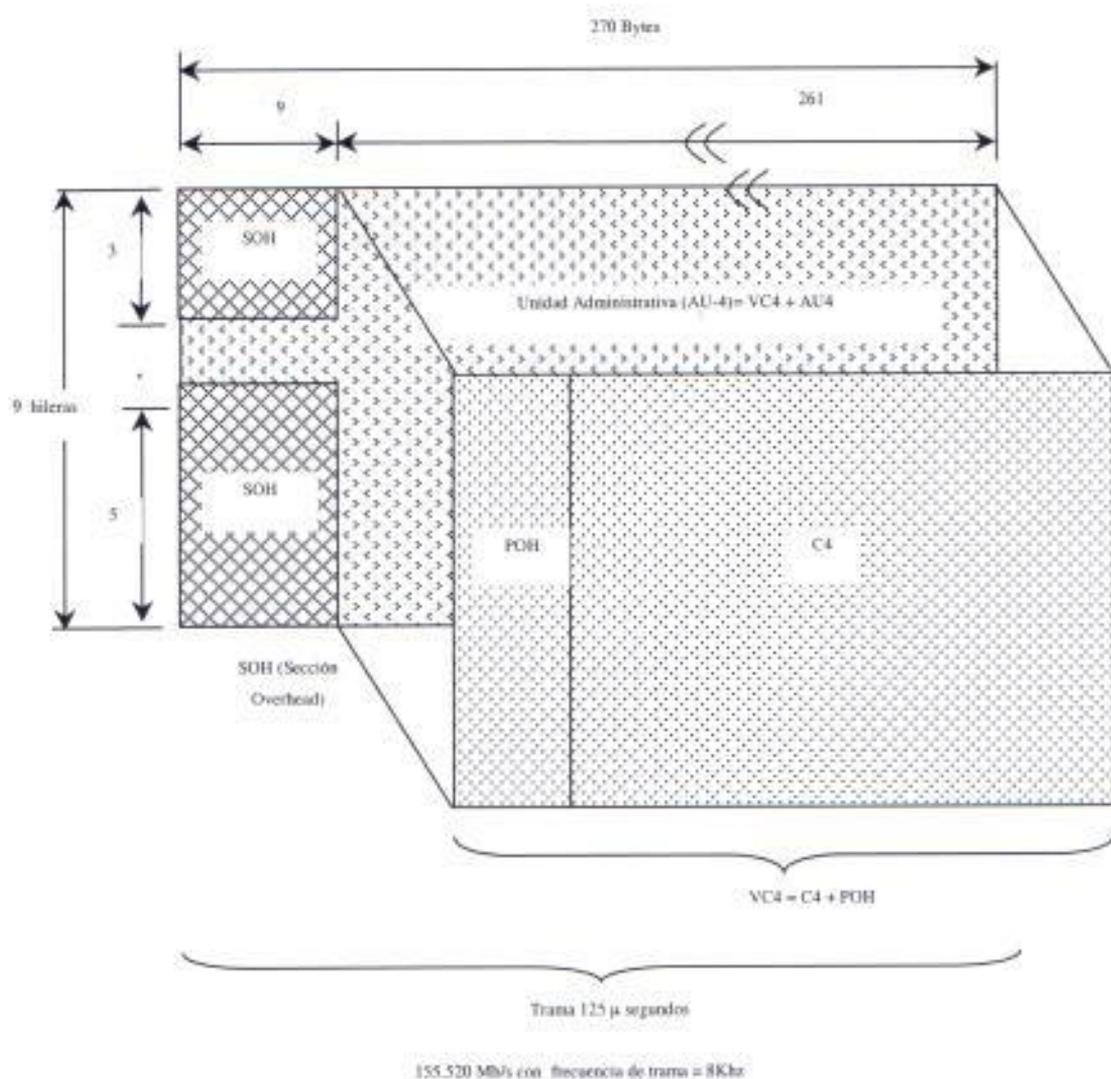
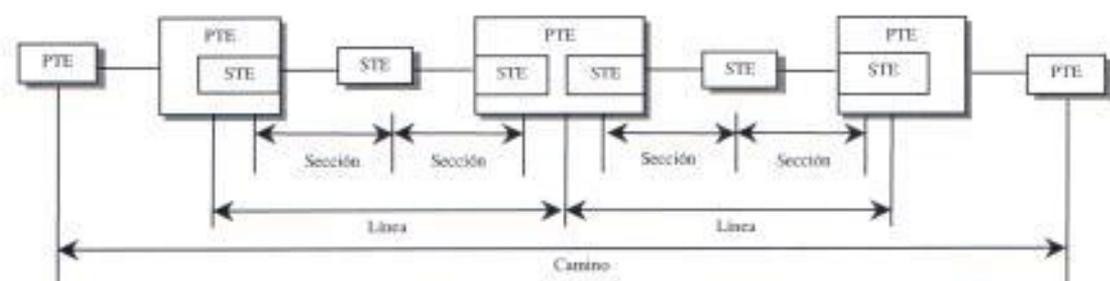


Fig. 3.1: Estructura de la trama STM1

Cada trama contiene información administrativa concerniente a cada una de sus partes constituyentes. Estas partes constan de secciones, líneas y caminos, y sus interrelaciones se muestran en la figura 3.2

Una sección es solo un tramo de cable de transmisión. Ambos extremos del cable terminan en un equipo terminal de sección (STE: section termination equipment). Un ejemplo de un STE es un repetidor que regenera las señales ópticas que se transmiten por esta sección de cable. Una línea abarca múltiples secciones de cable y termina en un equipo de línea (LTE: line termination equipment). Como ejemplo de LTE podemos citar los multiplexores y los nodos de conmutación. Un camino es un trayecto de transmisión de extremo a extremo a través del sistema de transmisión completo. Cada extremo del cable termina en equipo terminal de camino (PTE: path termination equipment).



STE= Equipo terminal de sección LTE= Equipo terminal de línea PTE=Equipo terminal de camino

Fig. 3.2: Entidades Administrativas

3.3 MULTIPLEXACIÓN

La señal de multiplex STM-N está compuesta de N señales AUG del tipo usado en STM-1 (AU-4) y de un bloque de $8 \times N \times 9$ SOH bytes (Fig. 3.3). Está formada por la intercalación en el sentido de los bytes de las señales N AUG. Esto produce una señal de N-tiempos de tasa de bit ($N = 4$ en STM-4, $N = 16$ en STM-16) con periodo de trama inalterado ($125 \mu\text{s}$). En esta señal de multiplex, el primer byte pertenece a la primera señal STM-1, el segundo byte a al segunda señal, etc. Con STM-4, el quinto byte entonces pertenece nuevamente a la primera señal STM-1, el sexto byte pertenece entonces de nuevo a ala primera señal y así sucesivamente. Con STM-16,

el 17 byte pertenece entonces de nuevo a la primera señal STM-1, EL 18° byte a al segunda señal etc.

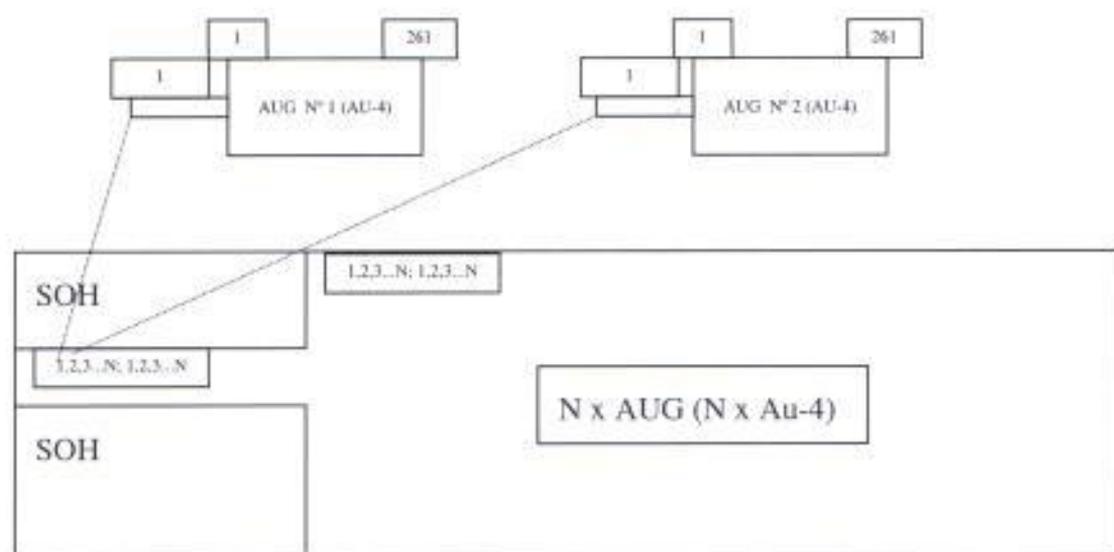


Fig. 3.3: Multiplexación de N grupos de unidades administrativas AUG para formar una señal STM-N

En la Fig. 3.4 se muestran algunos ejemplos de alternativas de multiplexión. Observe que el primer dígito del contenedor virtual de nivel más bajo es un 1 y que el segundo dígito indica si contiene una señal de PDH de 1.5 Mbps (1) o de 2 Mbps (2).

Para la formación de señales a transportar con el STM-1, se prevé la formación de estructuras numéricas llamadas TUG (grupos de unidades administrativas) obtenidas luego de la técnica de multiplexación y de intercalado de octetos. Se pueden tener los siguientes casos:

Un solo TU-2 o tres TU-12 en un TUG-2; un solo TU-3 o siete TUG-2 en un TUG-3;
un solo C-4 o tres TUG-3 en un VC-4

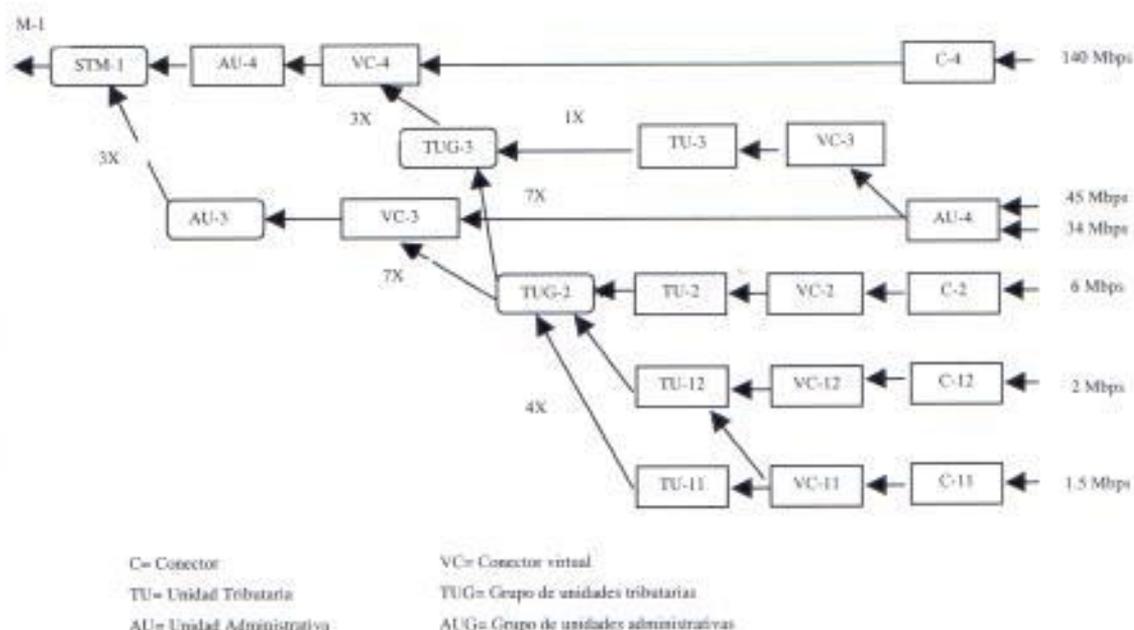


Fig. 3.4 Jerarquía de multiplexación SDH y su terminología

3.4 SEÑALES PLESIÓCRONAS

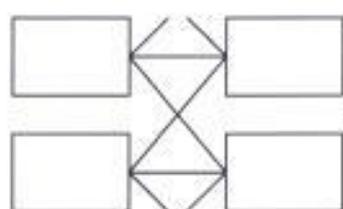
La jerarquía digital sincrónica también permite la transmisión de señales plesiócronicas. Con este propósito, se requiere un proceso de justificación siguiente para insertar las señales plesiócronicas en el contenedor (C) (mapeo).

3.4.1 Mapeo

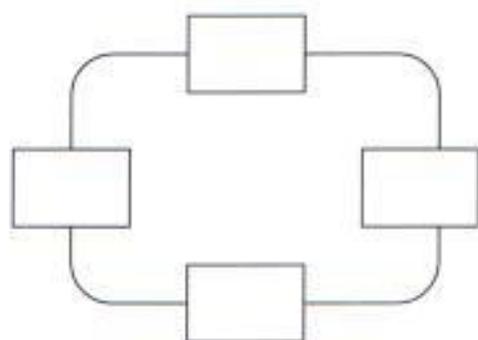
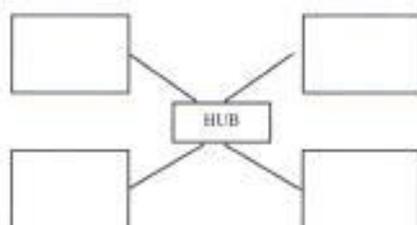
Una señal plesiócrona de 139 264 Kb/s puede insertarse en un contenedor C-4. La Fig. 3.5 muestra la disposición: Cada una de las 9 hileras del contenedor C-4 está subdividida en 20 bloques de 13 bytes cada uno. Doce de estos bytes son usados para transmitir la señal de 140 Mb/s (bits de información). El 13° byte se emplea de distintos modos como se muestra en la Fig. 3.6 (bytes W, X, Y y Z). Los bits de encabezamiento O quedan reservados para propósitos de comunicación en el futuro.

3.5 TIPOS DE TOPOLOGÍAS DE RED

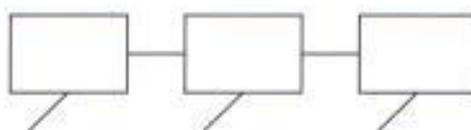
La flexibilidad de SDH puede ser usada para tomar mayor ventaja de la red introduciendo una nueva topología de red. Las redes tradicionales hacen uso de los arreglos tipo maya (mesh) y estrella (hub), pero SDH, con la ayuda de los multiplexores DXC (cross connect) y hub, permite que estas sean usadas en una forma mucho más amplia. SDH también permite que estos arreglos sean combinados con anillos y cadenas de ADMs para mejorar la flexibilidad y confiabilidad del acceso a las áreas de una red. La Fig. 3.7 muestra los fragmentos básicos de una topología que puede ser combinada.



Malla (Mesh)



Anillo



Cadena / árbol + bifurcaciones

Fig. 3.7: Fragmentos básicos de topologías de red

CAPITULO 4

DISEÑO DEL ENLACE

La red de PACIFICTEL cuenta de un sistema PDH de 6 + 1 con flujos de 140Mbps, la cantidad de trafico que se maneja en la estación de Santa Ana (Samborondón) equivalente a $6 \times 140\text{Mbps} = 840 \text{ Mbps}$, con este último dato determinamos que se requiere utilizar un equipo STM-16 que tiene la capacidad de manejar este tipo de flujo. Se conoce que cada STM-1 tiene la capacidad de manejar 155 Mbps y que un STM-16 es equivalente a 16 STM-1, por lo tanto maneja hasta 2.5 Gb/s.

En el diseño que se presenta en la tesis depende de muchas consideraciones que se deben tomar en cuenta para escoger los equipos y materiales con que se va a formar la red, dentro de ellos tenemos los siguientes puntos que son importantes:

1. Identificación de la trayectoria exacta del cable. Al momento de tender la fibra óptica se deben cumplir las normas que rigen esta actividad, es necesario además, obtener el debido permiso para la utilización de las vías por las cuales seguirá la fibra óptica.
2. El números de conectores y empalmes requeridos para el trayecto
3. La ventana óptica a utilizar.
4. Las pérdidas totales a lo largo del trayecto del enlace
5. Determinación del tipo de fibra, características, la manera como va ser instalada. Se debe tomar en consideración el ambiente en donde se va a instalar.
6. Los equipos que se van ha utilizar, considerando el ambiente donde van ha ser instalados.
7. La configuración del sistema, su estructura funcional.
8. Los costos de cada uno de los elementos que integran la red.

4.1 TRAYECTO DEL ENLACE Y TENDIDO DEL CABLE DE F.O.

El trayecto de instalación del cable de fibra óptica que se ha tomado en consideración entre los dos puntos; Centro (Guayaquil) y Santa Ana (Samborondón), se compone de tres tipos de instalaciones de la fibra que son: aérea, enterrada y canalizada. La distancia que existe entre estos dos puntos de enlace es aproximadamente 40 Km en la ruta que se va a instalar el cable aéreo de fibra óptica y 43 Km en la ruta que se va a utilizar los métodos de instalación canalizada y enterrada con un mismo cable de fibra óptica que cumpla con las especificaciones de UIT-T.

La ruta que va a seguir la instalación del cable de fibra óptica de forma canalizada, que actualmente PACIFITEL cuenta, es de la siguiente manera: desde el Centro (Guayaquil) la fibra óptica va por conducto canalizados, pasando por las centrales: "Boyacá", "Norte" hasta "La Puntilla"; suma una distancia aproximadamente de 12,2 Km de fibra óptica.

A partir de la central La Puntilla, se sigue la ruta del enlace, pero medio de la instalación de tipo enterrado utilizando una manguera de polietileno de 2" que vienen en 400 mts y es más segura para la protección del agua y rápida para la instalación de la fibra, hasta el cerro de Santa Ana (Samborondón) donde se encuentra ubicada la estación del mismo nombre, que existe una distancia de 30,8 Km. para este tipo.

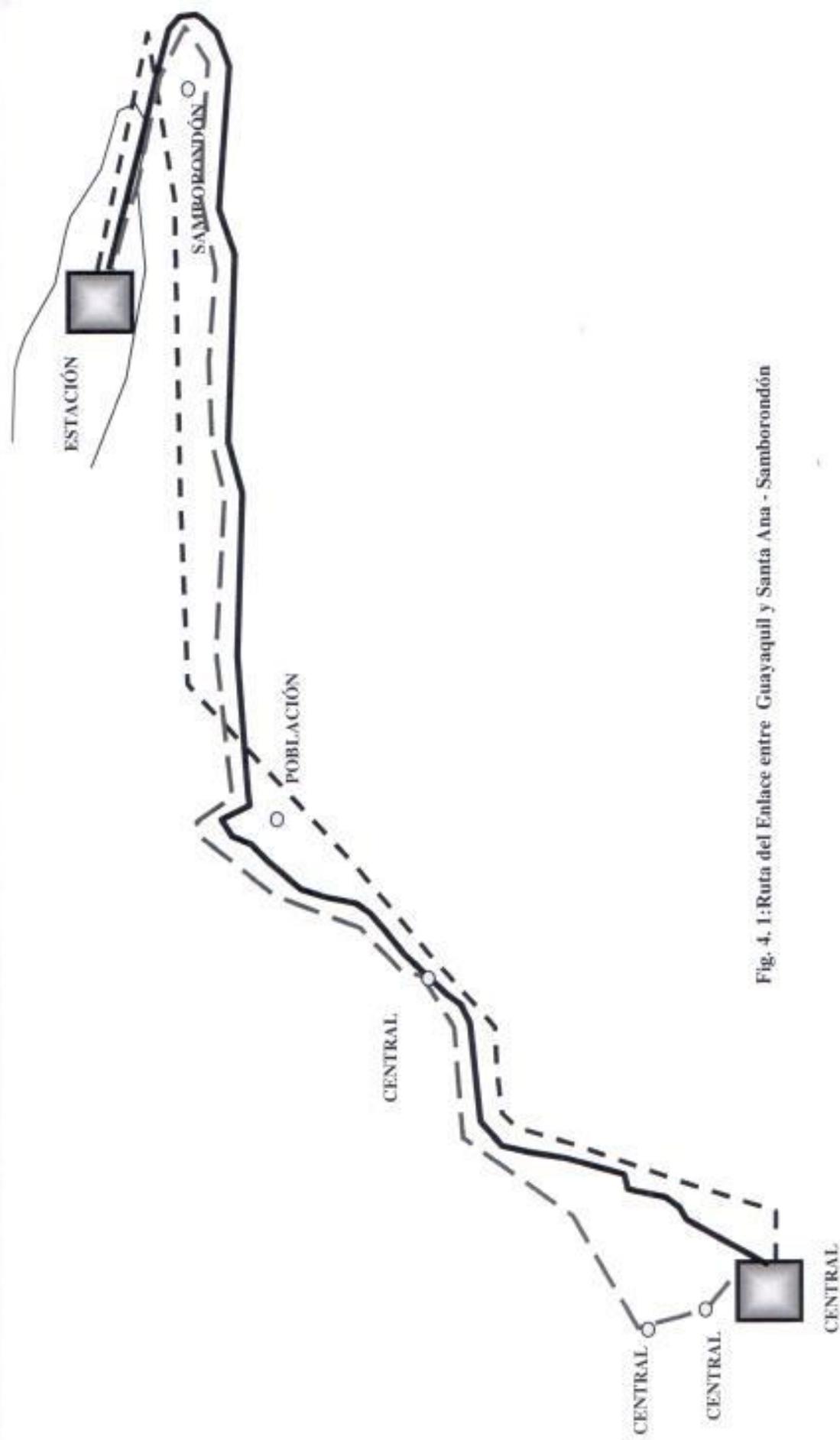


Fig. 4. 1: Ruta del Enlace entre Guayaquil y Santa Ana - Samborondón

4.1.1 Trayecto Aéreo (ruta 1)

La fibra óptica aérea, sale desde el departamento de Portadora donde se instalará un equipo ADM-16 (edificio del Correo de Guayaquil), luego va por la calle Malecón, haciendo uso de los postes de la Empresa Eléctrica y colocados a una altura que no afecte la red pública de energía. El cable sigue su trayecto, a través de los postes ubicados en el Cerro del Carmen y baja hasta coger la ruta del puente de la Unidad Nacional, por esta ruta del puente el cable aéreo, va por conducto en el extremo izquierdo del puente, luego se levanta el cable instalándolo en el poste de energía de alta tensión que cuenta La Puntilla llevándolo en forma aérea hasta llegar los postes que la empresa de EMELGUR a instalado hasta la subestación que se encuentra en Samborondón, aprovechando esta situación se lleva el cable hasta unos cuantos metros de la subestación desviamos el cable de fibra óptica hacia los postes de energía que llegan a la estación de Santa Ana que alimentan a los equipos que se encuentran ubicados en ese lugar.

El tendido del cable aéreo de fibra óptica desde Centro (Guayaquil) hasta la estación del cerro Sta. Ana (Samborondón), es el que se muestra en la tabla 4.1, donde se especifican también pérdidas de atenuación por tramos de fibra aérea y los números de empalmes utilizados. El tendido aéreo, sigue una ruta diferente, al canalizado en sus inicios; uniéndose las dos rutas a la altura del Puente Rafael Mendoza Avilés (La Puntilla), de aquí en adelante, las rutas siguen casi paralelas, cruzándose a la altura del recinto Tarifa, llegando así el tendido aéreo, al cerro Sta. Ana a través del de los postes de energía de alta tensión de Emelgur. En este tendido de energía la fibra óptica no sufre ningún tipo de interferencia debido a su composición. El tendido aéreo llega a la estación del cerro Sta. Ana a través del alumbrado público, uniéndose con la otra ruta.

Tabla 4. 1 Tendido del cable aéreo de F.O. Guayaquil - Sta. Ana (Samborondón)

Lugar del empalme	Dist. de la F.O (m)	Atenuac. de la F. O (dB)	Nº de empalmes	Nº de conect.
Central Centro	0	0.00		1
Avenida Malecón	250	0.09		
Barrio Las Peñas	1,650	0.56		
Cerro Sta. Ana	2,000	0.68		
Atrás del Lorenzo Ponce	2,500	0.85	1	
Ciudadela FAE	4,000	1.36		
Redondel Las Banderas	5,000	1.70	1	
Puente Rafael Mendoza Aviles	5,250	1.79		
Ciudadela Entre Ríos	7,500	2.55	1	
Central La Puntilla	8,500	2.89		
Recinto San José	10,000	3.40	1	
Recinto El Bayán	12,500	4.25	1	
Cerro Colorado	15,000	5.10	1	
Recinto El Batán	16,250	5.53		
Recinto La Sequilla	17,500	5.95	1	
Recinto El Recreo	19,250	6.55		
antes del estero el Batán	20,000	6.80	1	
Recinto La Colomba	22,500	7.65	1	
Recinto El Tejar	25,000	8.50	1	
Recinto El Rosario	27,500	9.35	1	
Hacienda San Francisco	30,000	10.20	1	
Recinto Boca de Caña	32,500	11.05	1	
Recinto Tarifa	35,000	11.90	1	
Sembrío (Piladora Marquito)	37,500	12.75	1	
Hacienda Rosa María	39,000	13.26		
Cerro Sta. Ana	40,000	13.60		1
Total	40,000	13.60	15	2

Como se puede apreciar en la tabla se marcan los puntos sobresalientes en el mapa topográfico del Instituto Militar Geográfico, además de las pérdidas de atenuación y números de empalmes del cable de fibra óptica tipo aéreo, como podemos observar que la mayor atenuación se encuentra a 40 Km.

4.1.2 Trayecto Canalizado y Enterrado (ruta 2)

Se escogió esta segunda ruta con el propósito de completar el diseño de "diversidad de ruta", mediante un análisis exhaustivo, en cuanto a distancias, tiempo de instalación y costos. Se decidió dirigir la ruta del cable desde el equipo tipo ADM-16 que se va instalar en el departamento de Portadora (edificio del correo) que va ser el punto de inicio del sistema de "Diversidad de Ruta" este cable óptico se lo llevará por medio de la canalización que cuenta PACIFICTEL desde la central Centro pasando por la central Boyacá, luego a la Central Norte hasta la Central La Puntilla.

Debido a que la canalización termina en la Central La Puntilla, se lo instalará de manera enterrada utilizando una manguera de polietileno de 2" de diámetro para una rápida instalación y protección al agua, por un costado de la carretera (a la derecha de la vía Samborondón) hasta la población la Delicia, el suelo se torna lodoso, ya que el nivel de terreno es bajo, cultivándose en sus pampas sembrados de arroz, lo que perjudicaría en ciertos factores tales como ambientales y humedad, este tipo de cable tiene sus características propias para soportar éstos factores ambientales además de la manguera que se va a utilizar. Al entrar a la población de Samborondón, el cable sigue su ruta enterrada por la calle principal (Sucre), 24 de Mayo y Bolívar; dirigiéndose de la misma forma de tendido hasta la estación en el cerro Sta. Ana de dicha localidad, donde se instalará el equipo ADM-16, que luego se distribuirá la información a los destinos correspondientes.

Toda la ruta canalizada y enterrada además de los puntos que sobresalen en el mapa topográfico que se adquirió en el Instituto Geográfico Militar es mostrada mediante la tabla 4.2 que también se especifica el número de empalmes y las pérdidas por atenuación en la fibra.

Tabla 4. 2 Enlace (Trayecto Canalizado /Enterrado) GYE - SANTA ANA

Lugar del empalme	Distancia de la F.O. (m)	Pérdidas de atenuación en la F.O. (dB)	Nº de empalmes	Nº de conectores
Central Centro	0	0.00		1
Central Boyacá	1,214	0.41		
	2,500	0.85	1	
Central Norte	3,536	1.20		
	5,000	1.70	1	
	7,500	2.55	1	
	10,000	3.40	1	
Central La Puntilla	10,835	3.68		
Recinto San José	12,500	4.25	1	
Recinto El Bayán	15,000	5.10	1	
Antes del Buijo	17,500	5.95	1	
Escuela Adolfo Tutiven	20,000	6.80	1	
Pasando el Estero El Batan	22,500	7.65	1	
Recinto La Colemba	25,000	8.50	1	
Recinto El Tigre	27,500	9.35	1	
Recinto Veinticuatro de Mayo	30,000	10.20	1	
Pasando H. San Francisco	32,500	11.05	1	
Recinto Boca de Caña	35,000	11.90	1	
Recinto Tarifa	37,500	12.75	1	
Piladora Marquito	40,000	13.60	1	
Samborndón	41,250	14.03		
Pasando Toma de Agua	42,500	14.45	1	
Estación Cerro Sta. Ana	43,000	14.62		1
Total	43,000	14.62	17	2

4.1.3 Tendido del cable en forma aérea

Las fibras ópticas son adecuadas para comunicaciones y transmisión de datos a través de cables aéreos que son enviados por los postes de la red de distribución de alta tensión (manejan voltajes de 13.8 KV y 2.4 KV), la ventaja del cable autoportado (ADSS) de fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas que es generado por las líneas de alta tensión, además tiene una cubierta resistente al deterioro debido a factores externos y resistente a los rayos UV, su peso es reducido, baja atenuación, implicando grandes distancias, gran ancho de banda, instalación del cable durante el servicio.

Aprovechando los postes de energía que la empresa eléctrica tiene instalados en el centro de la ciudad hasta el puente Rafael Mendoza y los postes de energía de la puntilla hasta la red de distribución que la empresa de EMELGUR, hasta la altura del deposito de agua #3 que cuenta Samborondón, luego se lo pasa a los postes de energía que suministra a los equipos instalados en la estación de Santa Ana del cerro del mismo nombre.

La instalación del cable se lo realiza de la siguiente manera se ata el cable de fibra óptica a lo autoportado a lo largo de la distancia entre postes, se debe tener mucha cautela para realizar la instalación del cable, lo que se deberá contratar un personal adecuado que trabajen con líneas de alta tensión (personal de la empresa de EMELGUR o empresa eléctrica). Al cable de fibra óptica autoportado se lo va a llevar por el neutro de los postes de alta tensión, asegurándose que el cable sea conectado a tierra, se debe tomar en cuenta también en cuenta el ajustar el pandeo (tensión) según a las especificaciones del cable. Existen equipos que realizan la instalación del cable aéreo y monitorea la tensión con que se va halando el cable registrándose en pantalla, en cada poste el cable es fijado en él, colocando las abrazaderas en los extremos muertos, no es necesario dejar lazos o vueltas de expansión, cuando se realiza empalmes se debe considerar que las cajas empalmadoras deben ser a prueba de intemperie, se deja reservas de expansión en los postes terminales, que son enrollados de al menos al menos 6 metros, como es en el

caso de pasar la fibra por las losetas que se encuentran en el puente Rafael Mendoza, se debe bajar el cable de fibra del poste, dejando reservas y se lleva al cable por las losetas por medio de un conducto metálico para proteger al cable de daños que debe ser conectado a tierra de manera adecuada para protección del cable, luego de ello se lo vuelva a subir en el primer poste que se encuentre al terminar el puente dejándose allí la misma cantidad de reserva que al inicio y se sigue con el mismo procedimiento que se llevaba al inicio.

Como en la instalación del cable enterrado y canalizado se realizan pruebas a la bobina del cable con el equipo de medición OTDR para determinar que el cable que va ser instalado este en perfectas condición, además de eso también se realiza pruebas después de la instalación del cable para ver si el cable ha sufrido daños en la instalación.

4.1.4 Tendido del cable en forma canalizada

Aprovechando la existente canalización que la empresa de PACIFITEL S.A. cuenta, desde el centro hasta La Puntilla de la ciudad de Guayaquil, nos reduce de esta manera en costo y tiempo de instalación. Para evitar de está manera las excavaciones de las calles que son muy desalentadoras, difíciles y costosas.

La canalización y pozos con que cuenta PACIFICTEL S.A. son de hormigón con conductos de PVC o polietileno que tienen una dimensión de 4 pulgadas y subconductos corrugados. Los conductos están terminados en arquetas o pozos, que proporcionan acceso al sistema de conductos, donde cada 3 o 4 pozos se colocará reservas cable aproximadamente 20 metros de reserva. Estos pozos de hormigón tiene forma curva que en una de sus paredes es sujetado el cable con binchas, luego sigue por la misma dirección del siguiente conducto. La distancia que existe entre los pozos es de 50 metros en el centro y en las zonas residenciales que no exceda de 200 metros.

Se realiza un empalme de fusión cuando se termina una bobina y empieza otra, siempre se debe tener la precaución de que estos empalmes queden en los pozos, que van a ser sujetados a la pared con tornillos, además se deja enrollado cable como reserva para futuros empalmes o ampliaciones. Estos empalmes son de tipo PSI2Y de tecnología Alcatel que actualmente PACIFICTEL los utiliza. Se ha escogido bobinas de 2500 metros para el recorrido del Centro - Guayaquil hasta el Cerro de Santa Ana - Samborondón.

Antes de realizar la instalación de cable se debe inspeccionar cuidadosamente todos los conductos y las arquetas de cables para controlar posibles daños o deterioros y para inspeccionar las medidas de seguridad, y en el caso de existir obstrucciones se debe realizar la limpieza de los conductos.

Para minimizar las tensiones del cable, se lo coloca preferentemente cerca de las esquinas de las arquetas a las bobinas o carretes de fibra óptica, luego se monta el equipamiento adecuadamente para realizar el arrastre, pero antes, en el mismo carrete se debe examinar todas las fibras ópticas del cable con un equipo de medición llamado OTDR y un adaptador de fibra desnuda, al terminar este tipo de medición se debe se debe atar el cable adecuadamente a la polea de arrastre y al eslabón giratorio (asegurándose que el eslabón y la polea se ajuste fácilmente en el conducto y subconducto), además se ata la cinta de arrastra instalada al eslabón, se va añadiendo lubricante al alimentador del cable y a cualquier posición intermedia. Se debe mantener las tensiones de arrastre muy por debajo de lo que el cable puede resistir, lo que se deberá monitorear continuamente las tensiones de cable y grabarlas en una cinta registradora.

4.1.5 Tendido del cable en forma enterrada

Este tendido se lo practica en las zonas rurales. La profundidad de la excavación, cualquiera que sea el procedimiento que se utilice, depende de las dificultades que ofrezca el terreno de la proximidad de la carretera o zonas muy transitadas.

Para la instalación del cable en zanjas se ha considerado tomar en cuenta contratar la mano de obra de los habitantes que se encuentran en las poblaciones dentro de la ruta para realizar las excavaciones de las zanjas. La profundidad de las zanjas va estar entre 70 u 80 cm, reduciéndose en zona rocosa. Las zanjas deben de hacerse tan rectas como sea posible, su fondo debe de ser plano, nivelado y sin piedras para colocarse un conducto de polietileno de diámetro 2 plg. que se alojará el cable de fibra óptica que va ser alado desde la punta de él, donde éste sufre su mayor tensión; para un mejor deslizamiento y menor tensión se debe colocar lubricante dentro del conducto. Los empalmes que vamos a utilizar en esta instalación se los coloca en pozos de mano que son superficiales. Este tipo de zanja es realizaría desde la Central La Puntilla hasta la población la Delicia (distancia de 20.5 Km) que está pasando el peaje, luego de ello se llevará el cable con el conducto por un trayecto que se mantiene con agua para los cultivos de arroz, se va realizar una pequeña excavación en el suelo para que se mantenga protegido el conducto con el cable, además encima de él se van a poner sacos con arena en el caso que existan corrientes en la temporada de invierno cuando se produce el desbordamiento de ríos, se colocaran empalmes herméticos, con protección de agua, se dejará reservas de cable más de 20mteros antes y después de este tipo de terreno, además se va sujetar el cable con grapas en los puentes que existen en los esteros que pasan por esa región debido a la corriente que existe en ellos. Después se seguirá el mismo proceso que se realizo al principio de la instalación enterrada hasta La estación de Santa Ana que está ubicada en el cerro de mismo nombre.

4.2 CÁLCULOS DEL ENLACE

Después de haberse realizado el estudio de cuantos kilómetros tienen las dos rutas, cuantos empalmes se va a utilizar, y en que ventana óptica se va a trabajar, se realiza el cálculo de cada ruta tomándose en consideración las pérdidas de cada empalme, conectores y la atenuación de la fibra por kilómetros, la suma de todo esto da como resultado la pérdida de la potencia de luz en la fibra óptica que es importante en el diseño; ya que de esa manera se clasifican los equipos, el cable, y demás accesorios que se utilizaran según los requerimiento del diseñador.

Es importante tomar en consideración que al restar todas las pérdidas ópticas del sistema, la potencia entregada por el transmisor, llegue igual o la suficiente potencia al receptor con el BER especificado por las recomendación de UIT-T

Para realizar los cálculos nos basamos en las siguientes fórmulas:

$$a) P_t \text{ (dBm)} - P_r \text{ (dBm)} = \sum \text{Pérdidas (dB)}$$

$$b) \sum \text{Pérdidas (dB)} = \alpha_L + \alpha_C + \alpha_E$$

Donde:

P_t = Potencia de transmisión del transmisor óptico

P_r = Potencia de recepción del receptor óptico

α_L = Atenuación debido a la longitud del cable de fibra (dB) = Longitud del cable (Km) x atenuación por Km (dB/Km). La atenuación por kilómetro es proporcionada por el fabricante de la fibra.

α_C = Atenuación debido a los conectores utilizados en el enlace.

α_E = Atenuación debido al número total de empalmes empleados en el enlace.

4.2.1 Cálculos para el tendido canalizado y enterrado

Características de la fibra óptica 24 hilos:

Ventana óptica = 1310 nm

Atenuación por Km = 0.34 dB/Km.

Consideraciones del enlace:

Rollos de cables = 2.5 Km. de longitud

Atenuación en cada empalme = 0.2 dB

Atenuación en cada conector = 0.4 dB

Distancia para el enlace = 43 Km

$$\Sigma \text{ Pérdidas (dB)} = \alpha_L + \alpha_C + \alpha_E$$

$$\alpha_L = 43 \text{ Km} \times 0.34 \text{ dB/Km} = 14.62 \text{ dB}$$

$$\alpha_C = 2 \times 0.4 \text{ dB} = 0.8 \text{ dB}$$

$$\alpha_E = (43 / 2.5 - 1) \times 0.2 \text{ dB} = 3.4 \text{ dB}$$

$$\Sigma \text{ Pérdidas (dB)} = 14.62 + 0.8 + 3.4 = 18.82 \text{ dB}$$

Para poder determinar la potencia de recepción, se toma como referencia los valores que se encuentran en la sección de especificaciones técnicas (capítulo 5) del equipo ADM-16 que transmite a una potencia de -1 dBm a este valor se resta la pérdida total del enlace incluyendo los paneles de conexión y los empalmes que se van a utilizar, dándonos como resultado un valor de -18.82 dBm, que se encuentra dentro del margen que se ha tomado como referencia del equipo ADM-16 (-27 a 0 dBm).

$$P_t - P_r = \sum \text{Pérdidas (dB)} = -18.82$$

$P_t - P_r$ debe estar entre -27 a 0 dB, según datos del fabricante del equipo, se concluye entonces que el detector no tendrá problemas en decodificar la información recibida.

Tabla 4.3 Pérdidas en la Ruta Canalizada/Enterrada

PERDIDAS	VALOR TOTAL (dB)
Debido a los 43 Km de fibra monomodo = 43Km x 0.34 dB/Km	14.62
Debido a los empalmes = 17 x 0.2 Db	3.40
Pares de conectores 2 x 0.4 dB	0.80
Total	18.82

4.2.2 Cálculos para el tendido aéreo

Características de la fibra óptica 24 hilos:

Ventana óptica: 1310 nm

Atenuación: 0.34 dB/Km.

Consideraciones del enlace:

Rollos de cables = 2.5 Km de longitud

Atenuación en cada empalme = 0.2 dB

Atenuación en los dos conectores = 0.4 dB

Distancia para el enlace 40 Km

Tabla 4. 4 Pérdidas en la Ruta Aérea

PÉRDIDAS	VALOR TOTAL (DB)
Debido a los 40 Km de fibra monomodo = $40 \text{ Km} \times 0.34 \text{ dB/Km}$.	13.6
Debido a los empalmes = $15 \times 0.2 \text{ dB}$	3.0
Debido a los conectores = $2 \times 0.4 \text{ dB}$	0.80
Total	17.4

Para poder determinar la potencia de recepción, se toma como referencia los valores que se encuentran en la sección de especificaciones técnicas (capítulo 5) del equipo ADM-16 que transmite a una potencia de -1 dBm a este valor se resta la pérdida total del enlace incluyendo los paneles de conexión y los empalmes que se van a utilizar, dándonos como resultado un valor de -16.4 dBm , que se encuentra dentro del margen que se ha tomado como referencia del equipo ADM-16 (-27 a 0 dBm).

4.3 ELEMENTOS DE LA RED

Después de haberse descrito los motivos y cálculos para la elección de los equipos ADM-16, el cable de fibra óptica y demás accesorios para el diseño de “Diversidad de Ruta”, en la tabla de abajo se indican los elementos y las cantidades a ser utilizadas en el enlace Guayaquil – Santa Ana (Samborondón).

Tabla 4. 5: Elementos utilizados en el enlace Guayaquil - Sta. Ana

EQUIPOS	CANTIDAD
ADM-16	2
FIBRA MONOMODO	
RUTA 1 (aéreo)	40Km
RUTA 2 (canalizado - enterrado)	43Km
INTERFACES ELECTRICAS	28
INTERFACES OPTICAS	4

Complementariamente a los equipos principales, se describirán las características técnicas de los tipos de cables de fibras ópticas monomodo, ya que son los primeros en ser instalados en la red.

Se presenta aquí dos alternativas para la selección del equipo ADM-16, a las cuales hemos denominado “Análisis 1” y “Análisis 2”, que se podrían utilizar en el diseño del enlace entre Guayaquil – Santa Ana (Samborondón). Las características de cada uno de estos equipos se detallan en las siguientes secciones.

4.3.1a Características del Equipo ADM16 (Análisis 1)

Las características de este equipo son utilizadas para la conexión de dos terminales ADM que van a tener como redundancia radios de microondas que están instaladas en la estación Santa Ana - Samborondón con el Cerro del Carmen - Guayaquil, esta redundancia es eléctrica y entra a funcionar en el caso de que se dañen los dos caminos ópticos. La redundancia eléctrica está constituida por el sistema de microondas vigente.

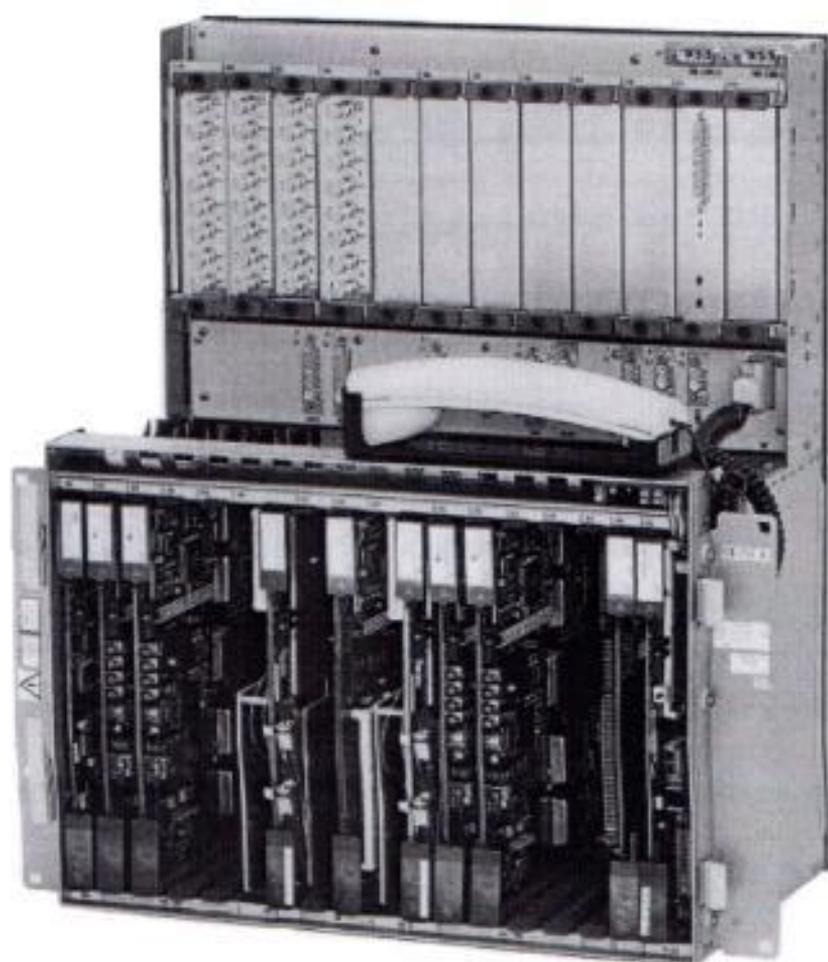


Fig. 4. 2: Multiplexor Sincrónico Add/Drop (STM 16)

Máxima cobertura de atenuación óptica

Guía de onda óptica utilizada es Fibra Monomodo

De acuerdo a las recomendaciones UIT-T G.957.

Puerto STM16

Ventana óptica 1300nm (L-16.1) para longitud larga es de 2 a 25dB

Ventana óptica 1300nm (S-16.1) para longitud corta es de 0 a 12dB

Puerto STM-4

Ventana óptica 1300nm (S-4.1) para longitud corta es de 0 a 18dB

Ventana óptica 1300nm (L-4.1) para longitud larga es de 6 a 30dB

Ventana óptica 1550nm (L-4.2/L-4.3) para longitud larga es de 8 a 32dB

Puerto STM-1

Ventana óptica 1300nm (S-1.1) para longitud corta es de 0 a 18dB

Ventana óptica 1300nm (L-1.1) para longitud larga es de 0 a 28dB

Protección de conmutación

Tiempo de conmutación con protección de conmutación MSP es a <50ms

Tiempo de conmutación con protección de conmutación de camino es a <30ms.

Condiciones ambientales

Operación se rige según al estándar europeo 300 019 clase 3.1e

Espacio para instalar según al estándar europeo 300 019 clase 1.2

Transportación según al estándar europeo 300 019 clase 2.3

Compatibilidad electromagnética

La resistencia a la interferencia del campo cumple con las recomendaciones EN 55022, CISPR 22

Inmunidad de interferencias electromagnéticas cumple con las recomendaciones de la IEC 801-2,-4, -6 Y UIT-T K.20/22

Dimensiones mm (WxHxD)

Rack es de 600x2200x300

Interfaces Tributarias

Eléctrico (según a las recomendaciones UIT-T G.703)

STM-1/140Mbit/s, modulo de interfaces EIPS1

Puertos input/salida, 4/4

Tasa de bit conmutable es de 139.264Mbit/s o 155.520 Mbit/s.

Todos los puertos pueden ser conmutado independientemente del otro (juntamente para ambas direcciones de transmisión) para señales 140Mbit/s o 155.520Mbit/s.

Jitter se rigen según a las recomendaciones UIT-T G.823, G.825

Óptica (Se rige según a las recomendaciones UIT-T G.703)

STM-16 interfaces línea o tributario, dependiendo el uso.

STM-4, modulo de interfaces OIS4

Puertos de entrada/salida 1/1, razón de bit 622.080 Mbit/s

STM-1, modulo de interfaces OIS4

Puertos de entrada/salida 2/2 y razón de bit es de 155.520 Mbit/s.

Interfaces de línea óptica

Cumpliendo con las recomendaciones UIT-T G.707, G.708, G709

STM-16, modulo de interface OIS16, puertos de entrada/salida 1/1

Razón de bit 2488.320 Mbit/s.

Interfaces de servicio/operación

Sincronización del reloj en la red (recomendaciones UIT-T G.703)

Modulo de interface es CLL

T3 puerto de entrada es 2

T4 puertos de salida es 2

Frecuencia entrada/salida es 2048K

Panel de control para canal de servicio(RS y MS)

Modulo de interface es OHA

Rango de frecuencia es de 300Hz a 3400Hz

Método de modulación es el PCM

Razón de bit es de 64 Kbit/s

Interface E&M de 4hilos:

Modulo por puertos de entrada/salida es 2/2

Interface PBX de 2 hilos:

Módulos por puertos de entrada/salida de 1/1

Interface de servicios del microteléfono

Modulo por puerto de entrada/salida de 1/1

Canales auxiliares digitales

Modulo de interface es OHA

Interface de acceso para UIT-T G.703

Modulo por puertos de entrada/salida es 2/2

Razón de bit es de 64 Kbit/s

Similar interface a la UIT-T V.11

Modulo por puertos entrada/salida es 4/4

Razón de bit es de 64 Kbit/s

Acceso de indicación de alarma Bw7R

Modulo de interface es de SCU

Alarmas de salida son los ZA(A), ZA(B)

Equipo de señal de luz para contacto de transmisión so a, b, el

Alarmas externas

Modulo de interface es el TIF

Puerto de entrada/salida es 16/16

Condición del modulo estadístico para entrada y salida en el acceso de señalización E&M

Sistemas de administración de red por medio de la interfaz Q

Modulo de interfaz es SCU

Protocolo es del propietario

Razón de bits es a 10 Mbit/s

Interfaz para terminal de operación F

Modulo de interfaz es SCU

Tipo de interfaz es UIT-T V.24/V.28

Razón de bit 9.6 Kbit/s

Suministro de energía

Puertos de entrada(redundante) son 2

Voltaje de entrada es -40.5 a -75 V

Consumo de energía (valores típicos)

SLT16,SLD16,SLT16C es de 230W

SLD16E, SLT16E es de 420W

Tabla 4. 6: Especificaciones Técnicas del Equipo ADM-16 para tributarios de 140 Mbit/s

Interfaces	Características
Eléctricas	
STM-1 / 140 Mbit/s	
Módulo de interface	EIPS1(8 tarjetas)
Puertos de entrada/salida	4/4 por módulo
Conmutable a velocidad de bit	139.264 Mit/s o 155.520 Mibt/s
Jitter	ITU-T G.823, G.825
Redundancia Eléctrica	(8 tarjetas)
Módulos de entrada/salida	4/4 por módulo
Ópticas	
STM-16	
Módulo de Interface	OIS16 (2 tarjetas)
Puertos de entrada / salida	1/1 por módulo
A velocidad de bit	2488.320 Mbit/s
STM-4	
Módulo de Interface	OIS4 (8 tarjetas)
Puertos de entrada/salida	1/1 por módulo
A velocidad de	622.080 Mbit/s
STM-1	
Módulo de Interfacce	OIS1(8 tarjetas)
Puertos de entada/salida	2/2 por módulo
A velocidad de	155.520 Mbit/s

Otros Módulos de Interfaz
Servicio/Operación
Canal de Servicio de Ingeniería(RS y MS)
Canales Digitales Auxiliares
Señalizaciones de Alarmas
Alarmas Externas
Sistemas de Administración de red (Q)
Terminal Manual Local (F)
Suministro de Energía

4.3.1b Características del equipo ADM 16 (Análisis 2)

Las características de este equipo son apropiadas para manejar tributarios de 34 Mbit/s valor que nos interesa ya que de los radios salen estos valores que van ser insertados en los contenedores C-3 de la trama STM-1 y luego a la trama STM-16.

Operación de la longitud de onda

La guía de onda óptica que se utiliza es la fibra monomodo

Cumple con las recomendaciones UIT-T G.957

Puerto STM-16

Ventana de 1300 nm su potencia de transmisión de rango mediano es de -3 a 0 dBm.

Ventana de 1300 nm su potencia de transmisión de rango largo es de -3 a 0 dBm.

Puerto STM-4

Ventana de 1300 nm su potencia de transmisión de rango mediano es de -15 a -8 dBm.

Ventana de 1300 nm su potencia de transmisión de rango largo es de -3 a 0 dBm.

Protección de conmutación

Para tarjetas de 2 Mbit/s son N:1 tarjetas de protección ó ninguna

Para tarjetas de 34 Mbit/s son 1+1 tarjetas de protección ó ninguna

Para tarjetas de 140 Mbit/s son 1+1 tarjetas de protección ó ninguna

Para tarjetas de 155 Mbit/s (interface eléctrica) son N:1 tarjetas de protección o ninguna.

Para tarjetas ópticas de 155 Mbit/s son 1+1 son tarjetas de protección ó ninguna

Interfaces eléctricas

Siguiendo con la recomendación G.703

Interface HDB3 de 2Mbit/s utiliza 21 módulos

Interface HDB3 de 34 Mbit/s utiliza 3 módulos

Interface CMI de 140 Mbit/s utiliza 1 modulo

Interface CMI de 155 Mbit/s utiliza 1 modulo

Interfaces ópticas

Siguiendo las recomendaciones G. 957 con conectores DIN o FC/PC

Interfaz STM-1 de 155 Mbit/s para L-1.1, L-1.2

Interfaz STM-4 de 622 Mbit/s para S-4.1, L-4.1,L-4.2

Interfaz STM-16 de 2488 Mbit/s para L-16.1, S-16.1

Variante de alta energía JE-16.2/JE-16.3

Interfaz de servicio y control

Interfaz del administrador de la red (G.773 y G.784)

Interfaz Q en B3 a 10 Mbit/s

Interfaz F de tipo V.24

Razón de bit es de 9.6 Kbit/s

Interfaz de indicación de alarma de Bw7R

Voltaje de indicación es como máximo 75 V.

Interfaz de reloj

Interfaz T3 y T4 para red de sincronización (G.703) a una velocidad de 2048 Khz

Alarmas externas

Modulo de interfaz TIF

Puertos de entrada/salida es de 16/16

Panel de control para canal de servicio(RS y MS)

Modulo de interfaz por OHA

Dos teléfonos

Interfaz Overhead (V.11) con 4 interfaces

Razón de bit es de 64 Kbit/s, 192 Kbit/s, 576 Kbit/s

Interfaz overhead (G.703/1) son 2x64 Kbit/s

Interfaz de 2 hilos para teléfono EOW es 1 sola interfaz

Interfaz de 4 hilos E&M tiene dos interfaces

Interfaz de 2 hilos PBX tiene una sola interfaz

Interfaz de ringing/interfaz de control tiene una interfaz

Suministro de energía

Voltaje de suministro DC es de 48V y 60V.

En el rango 36V a 75V

Consumo de energía típica

De todo el subrack es de 240W

Tabla 4. 7: Especificaciones Técnicas del Equipo ADM-16 para tributarios de 34 Mbit/s

Interfaces	Características
Eléctricas	
34 Mbit/s	EIPS1 (8 tarjetas)
Módulo de Interface	
Puertos de entrada/salida	3/3 por módulo
Conmutable a velocidad de bit	34 Mbit/s
STM-1 / 140 Mbit/s	EIPS1(16tarjetas y 3 de respaldo)
Módulo de interface	
Puertos de entrada/salida	4/4
Conmutable a velocidad de bit	139.264 Mit/s o 155.520 Mibt/s
Jitter	ITU-T G.823, G.825
STM-16	
Módulo de Interface	OIS16 (1tarjetas y 1 de respaldo)
Puertos de entrada / salida	1/1por módulo
A velocidad de bit	2488.320 Mbit/s
STM-4	
Módulo de Interface	OIS4 (4 tarjetas y 3 de respaldo)
Puertos de entrada/salida	1/1por módulo
A velocidad de	622.080 Mbit/s
STM-1	
Módulo de Interfacce	OIS1(16 tarjetas 3 de respaldo)
Puertos de entada/salida	2/2 por módulo
A velocidad de	155.520 Mbit/s

Otros Módulos de Interfaz
Servicio/Operación
Canal de Servicio de Ingeniería(RS y MS)
Canales Digitales Auxiliares
Señalizaciones de Alarmas
Alarmas Externas
Sistemas de Administración de red (Q)
Terminal Manual Local (F)
Suministro de Energía

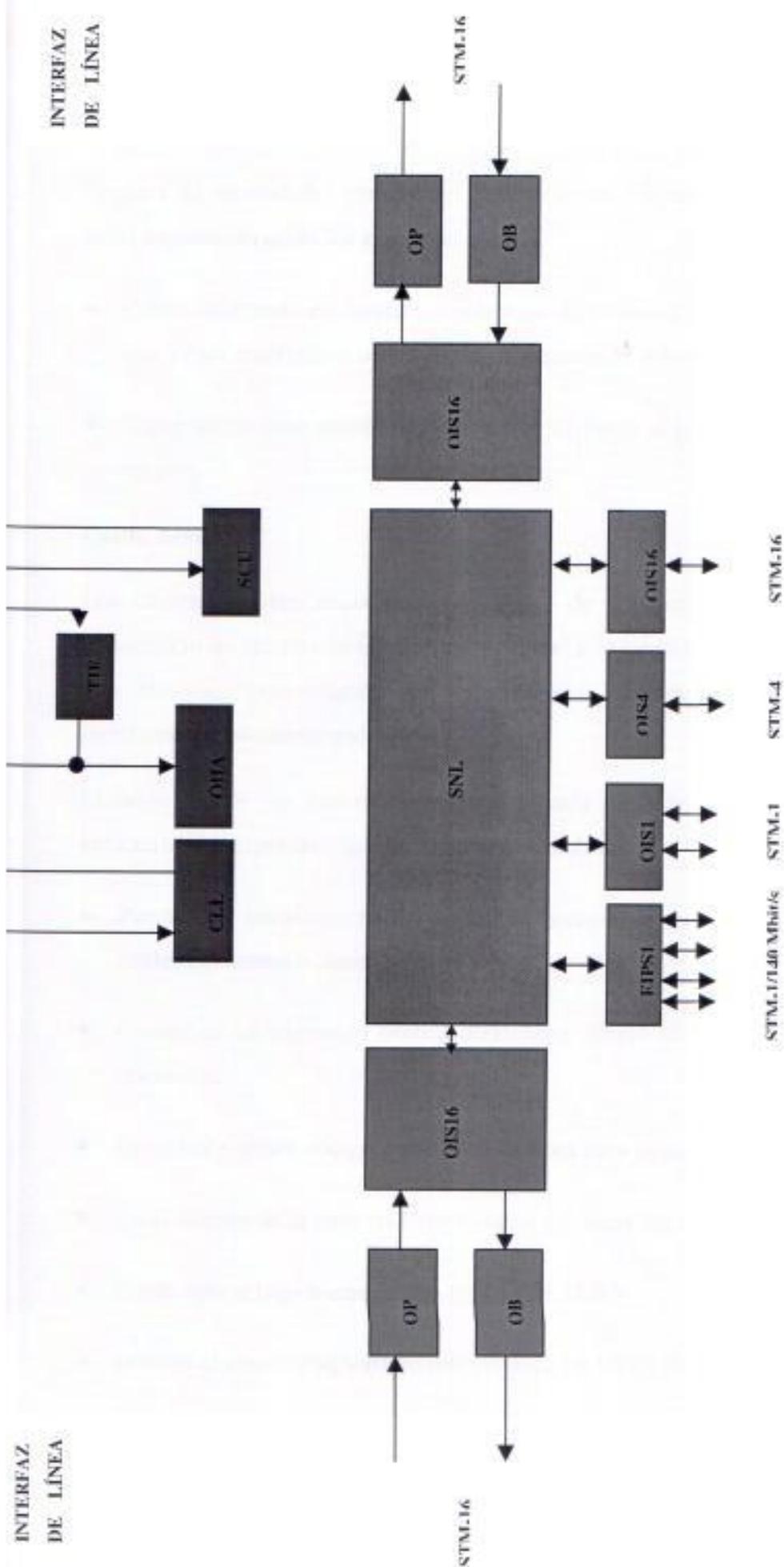


Fig. 4.4: Estructura Funcional Sincrónica ADM

4.3.2 Tipos de cable utilizados

Según a las necesidades estudias del entorno donde van ser instalados los cables se ha toma en consideración los siguientes puntos:

- Cable canalizado en conductos plásticos, de cemento y de fibro cemento, además que va ser enterrado a través de una manguera de polietileno de 2" de diámetro.
- Cable aéreo auto soportado, que se lo va llevar a través de los postes de alta tensión.

Cable Aéreo

Los cables de fibra encuentran un campo de aplicación muy interesante en la transmisión de señales de telecomunicaciones a lo largo de líneas de distribución de alta tensión, aprovechando las características dieléctricas e inmunidad a las interferencias electromagnéticas.

El cable ADSS se han escogido para nuestra ruta aérea debido a las siguientes características especiales que se destaca en el cable:

- Pueden ser instalados en los postes de energía por encima o por debajo de los cables existentes o también por el neutro.
- Consta de un elemento central dieléctrico, fibras libres de tensión durante la operación.
- Es flexible, posee código de color de la fibra para su identificación.
- En el interior de la cubierta externa tiene una capa interna de aramida.
- Puede operar bajo líneas de alta tensión de 110kV.
- Inmune al electromagnetismo que produce las líneas de alta tensión.

- Está compuesta de una cubierta resistente a los rayos UV y del deterioro de la cubierta del cable por factores externos.

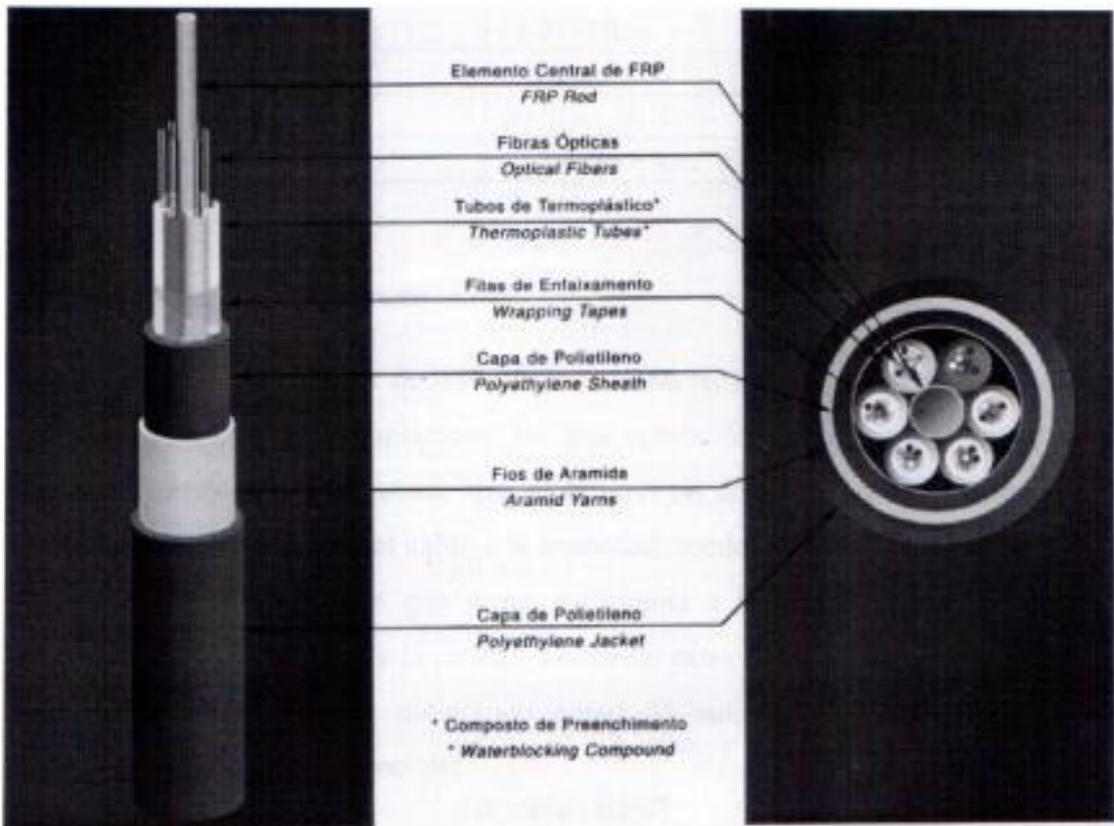


Fig. 4.5: Cable para Instalación Aéreo (ADSS)

Tabla 4. 8 Características del Cable Aéreo Autosoportado (ADSS)

CARACTERISTICAS	CABLE TIPO ADSS
Diámetro del cable	13.7 mm
Diámetro del núcleo	9.2 μ m
Peso del cable	159 Kg/Km.
Máxima tensión de carga	239 kgf
Radio de curvatura mínimo	165 mm
Número de fibras ópticas	24 hilos
Atenuación	≤ 0.34 dB/Km.
Rango de longitud de onda	1310 nm
Temperatura de operación	-20 °C a + 65 °C
Dispersión a 1310 nm	≤ 2.5 ps/nm x Km.

Cable Canalizado y Enterrado

Para realizar estos dos tipos de instalaciones se ha tenido que escoger un cable que tenga la capacidad de cumplir con las dos condiciones, enterrada y canalizada. Tomando como punto importante que el terreno en donde se va instalar en forma enterrada va estar expuesto el cable a la humedad, roedores, y agua mientras que en la parte canalizada se tiene que tomar en cuenta a los roedores que se puedan introducir en los conductos y humedad. Tomando estas necesidades como referencia se escoge un cable óptico dieléctrico enterrado anti - roedores, que tiene las siguientes características especiales:

- Tiene un elemento central que en su alrededor se encuentran los tubos donde se alojan las fibras con un dieléctrico y las fibras se encuentran revestidas de acrilato.
- Protección interna contra termitas.
- Protección dieléctrica contra roedores.
- Diseñado con tubos sueltos con fibras libres durante la operación de tensión.

- Es flexible, posee código de color de la fibra para su identificación.
- Se encuentra recubierta de una capa de polietileno, revestimiento de poliamida, capa de fibra de vidrio y una capa externa de polietileno.

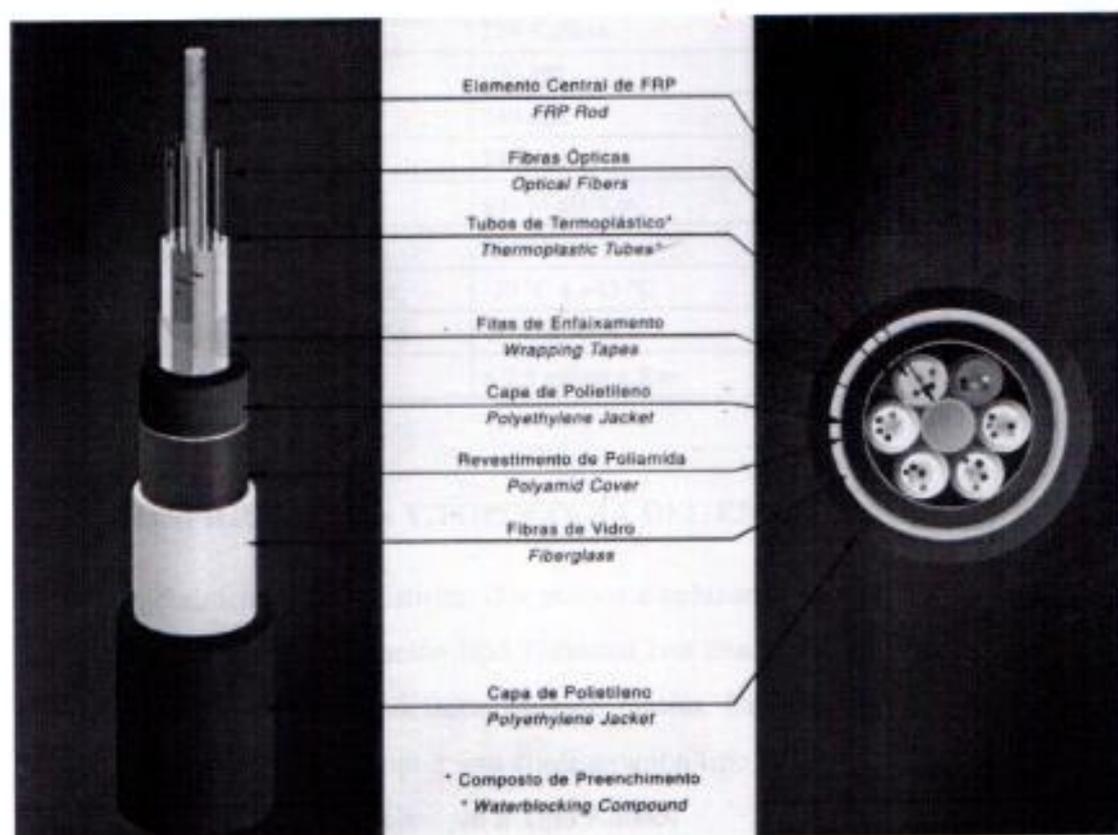


Fig. 4.6: Cable para Instalación Enterrado/Canalizado.

Tabla 4.9 Características del Cable Aéreo Autosoportado (ADSS)

CARACTERISTICAS	VALORES NOMINALES
Diámetro externo del cable	20.0 mm
Diámetro del núcleo	9.2 μm
Peso del cable	310 Kg/Km.
Máxima tensión de instalación	100 kgf
Radio de curvatura mínimo	240 mm
Número de fibras ópticas	24 hilos
Atenuación	$\leq 0.34 \text{ dB/Km.}$
Rango de longitud de onda	1310 nm
Rango de temperatura de operación	-20 °C a +65 °C
Rango de temperatura de instalación	-5 °C a 50 °C
Dispersión a 1310 nm	$\leq 2.5 \text{ ps/nm} \times \text{Km.}$

4.4 CONFIGURACION Y TOPOLOGÍA DEL ENLACE

Ya que inicialmente sólo existirían dos puntos a enlazar, los equipos que integran la red adoptarían una configuración tipo Terminal con una topología Punto a Punto; no obstante, los equipos referenciados en este diseño, han sido seleccionados de tal manera que estos puedan adoptar una configuración tipo Add/Drop y facilitar así otro tipo de topología, como por ejemplo la tipo Anillo.

El diseño del enlace plantea una configuración con protección de línea por diversidad de ruta, de tal forma que si un camino se daña o la señal que viaja por este se degrada, de manera automática entra a operar la otra ruta, sin causar interrupción del servicio brindado.

Estas configuraciones de los equipos son posibles gracias a las redundancias que ofrecen a nivel de tarjetas tributarias y al programa de gestión de red propio de la tecnología SDH.

En la figura 4.7 se muestra el análisis 1 de la configuración tipo terminal del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) utilizando diversidad de ruta.

En la figura 4.8 se muestra un diagrama de distribución de flujos del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/drop, utilizando tributarios eléctricos de 140 Mbps.

En la figura 4.9 se muestra el análisis 2 de la configuración tipo terminal del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) utilizando diversidad de ruta.

En la figura 4.10 se muestra un diagrama de distribución de flujos del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/drop, utilizando tributarios eléctricos de 34 Mbps.

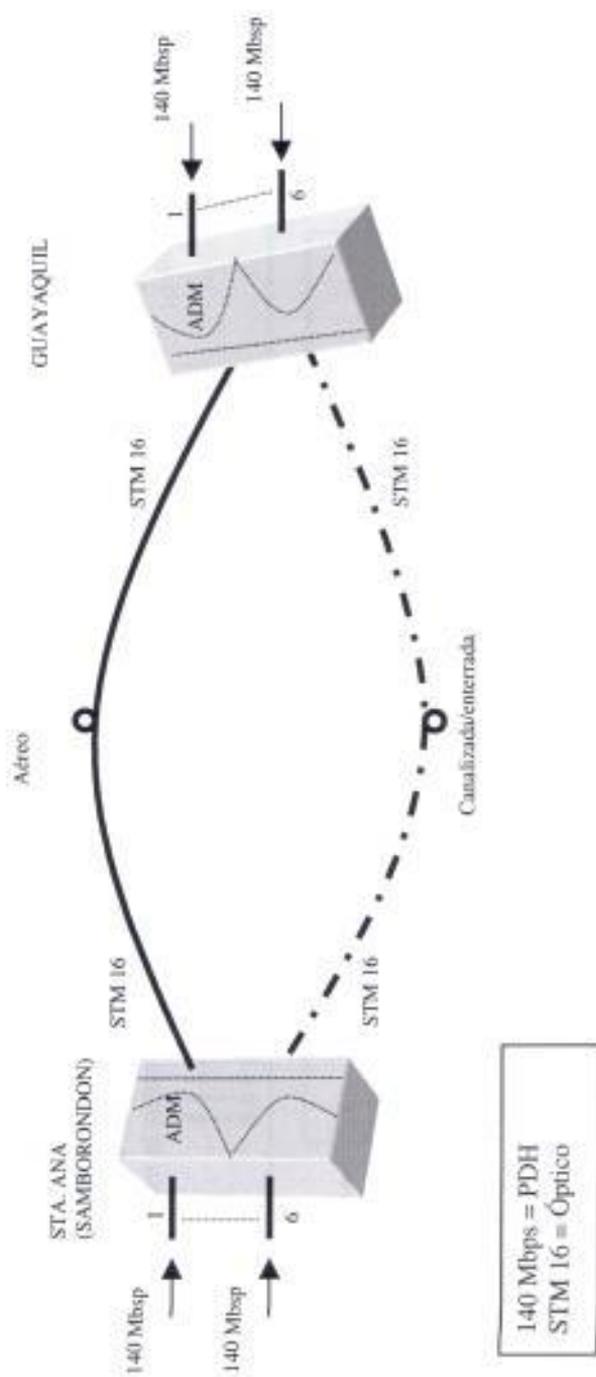
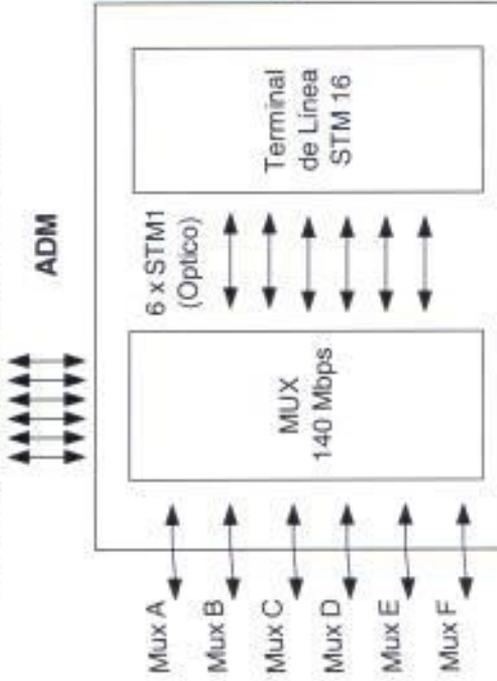


Fig. 4.7: Configuración Tipo Terminal entre Guayaquil y Sta. Ana (Samborondón) utilizando diversidad de ruta (análisis 1)

SANTA ANA (SAMBORONDON)

Estación Santa Ana

Al respaldo de 6 flujos eléctricos de 140 Mbps que van al sistema de microondas vigente



Cada mux es de interface eléctrica de 140 Mbps

Mux A: Quito
Mux D: Manta
Mux B: Quilto
Mux E: Milagro, Daule, Sist Rural 1, 2

Mux C: Babahoyo y Quevedo
Mux F: Naranjito, Vinces, Balzar, catarama, Palenque, Sist Rural 3 y La Troncal

GUAYAQUIL

Al respaldo de 6 flujos eléctricos de 140 Mbps que van al sistema de microondas vigente

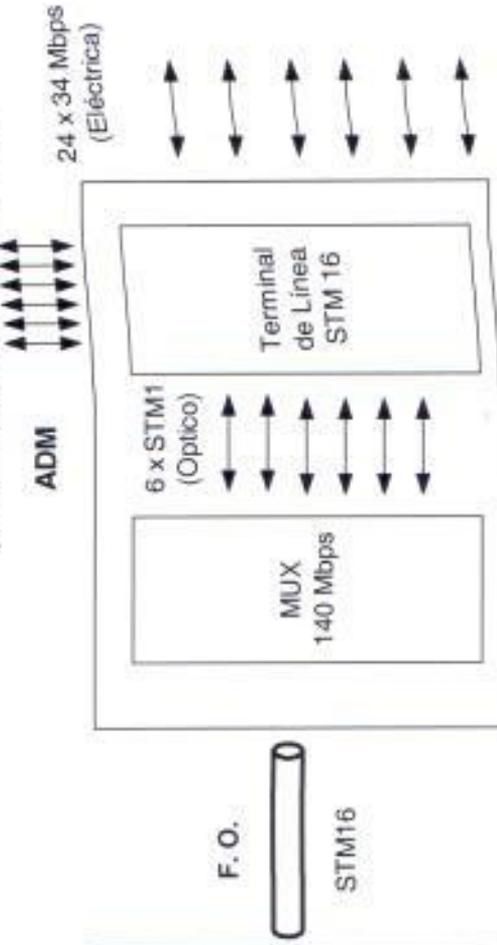


Fig 4.8: Distribución de flujo del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/Drop, utilizando tributarios eléctricos de 140 Mbps

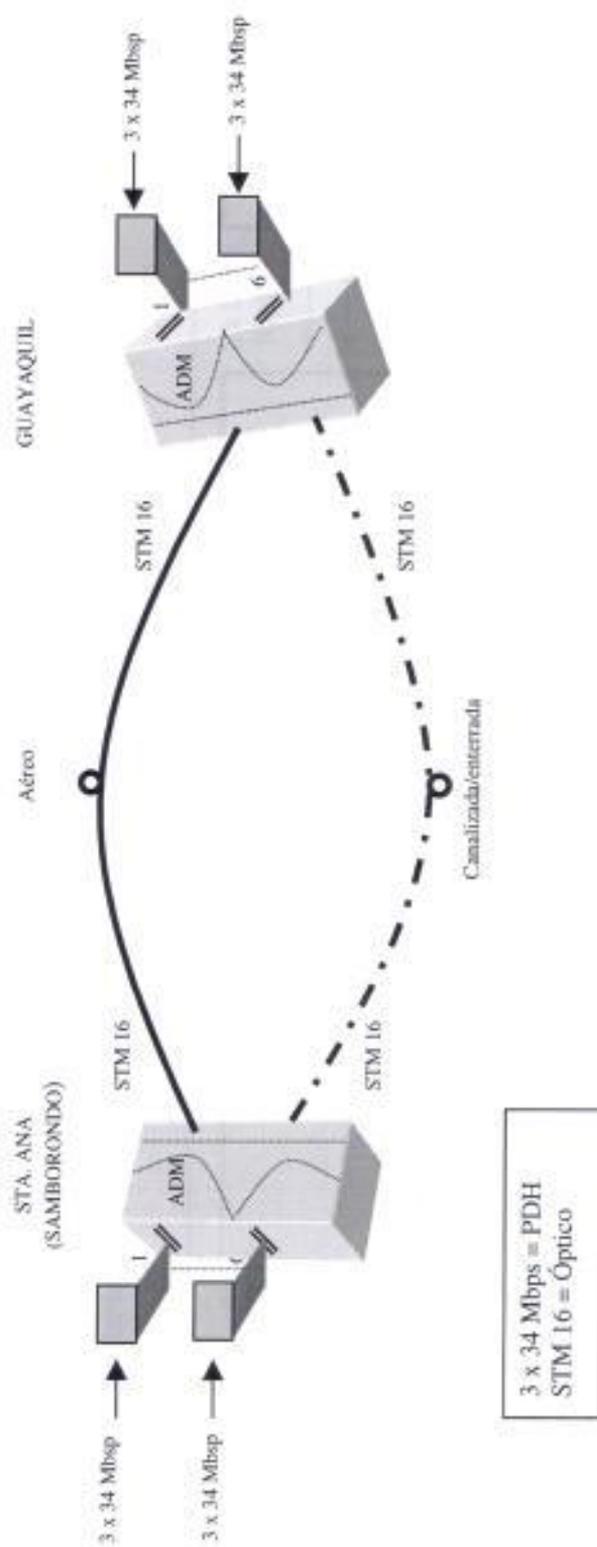
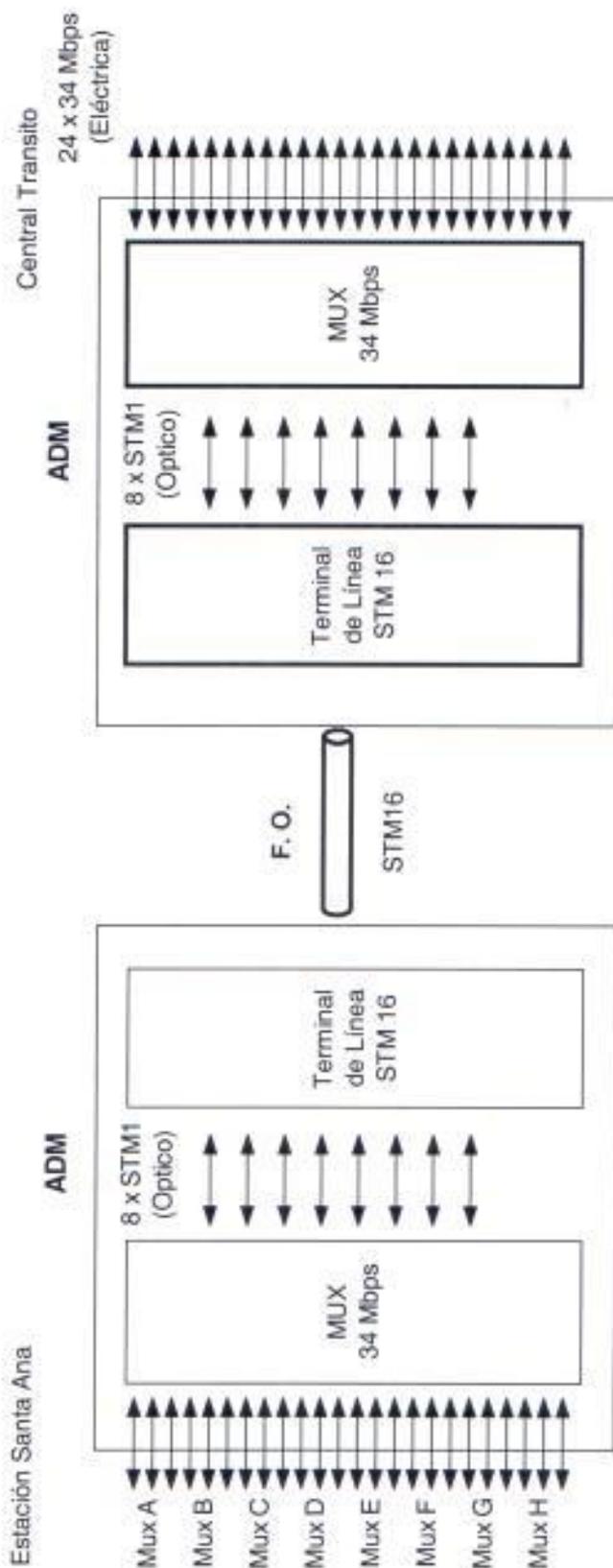
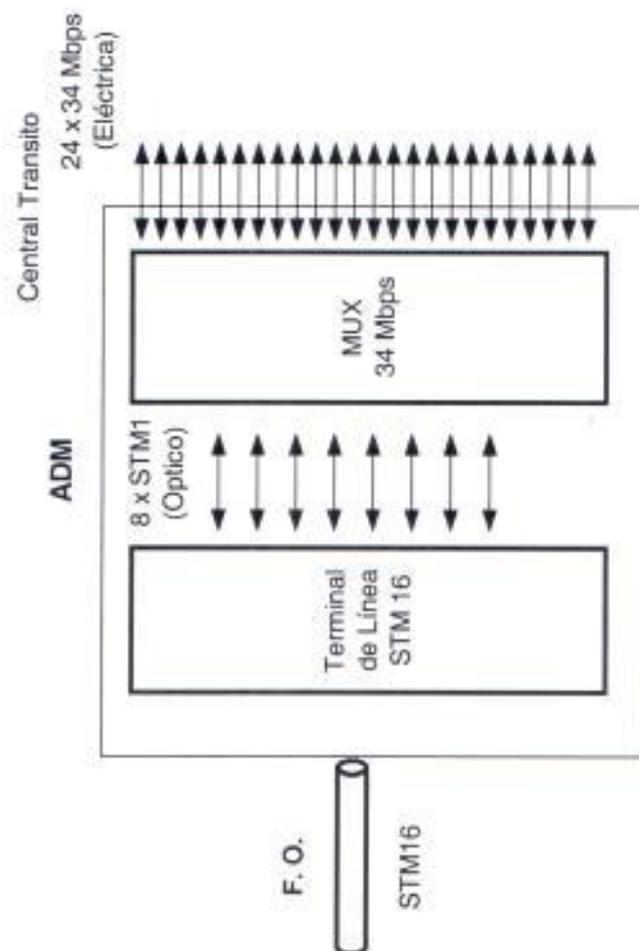


Fig. 4. 9: Configuración Tipo Terminal entre Guayaquil y Sta. Ana (Samborondón) (Análisis 2)

SANTA ANA (SAMBORONDON)



GUAYAQUIL



Cada mux abarca 3 tributarios de 34 Mbps

Mux A: 1 - 3 Quito

Mux D: 1 Babahoyo, 2- 3 Quevedo

Mux G: 1 Sist. Rural 2, 2 Natanjito, 3 Sist. Rural 3

Mux B: 1 - 3 Quito

Mux E: 1 - 3 Manta

Mux H: La Troncal, Vinces, Balzar, Palenque, Catarama

Mux C: 1 - 2 Quito, 3 Babahoyo

Mux F: 1 Milagro, 2 Daule, 3 Sist. Rural 1

Fig 4.10: Distribución de flujo del enlace entre Guayaquil y Santa Ana (Samborondón) en el equipo Add/Drop, utilizando tributarios eléctricos de 34 Mbps

4.5 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

Entre los elementos y componentes más usados en el diseño de redes con fibras ópticas están los siguientes:

- Conectores
- Empalmes

4.5.1 Conectores

Posee una cara cilíndrica no resbaladiza, como muestra la figura 4.11, que permite una rápida y fácil instalación. Posee también una rosca de acoplamiento que proporciona conexiones durables, tiene una abrazadera de zirconio de 2.5mm de espesor para conectar o desconectar una prueba, está hecho así para una ejecución óptima y prevenir un daño rotacional durante el acoplamiento y desconexión, posee una configuración híbrida con diferentes conectores para una única aplicación. Es un conector de alta ejecución de enlace para equipos de transmisión y switcheo con armazón y alojamiento metálico para tecnología de fibra óptica ya sea en configuración simplex o duplex. Se lo aplica para fibras monomodo y multimodo con cero dispersión. Además alcanza 65 dB de pérdidas de retorno mínimo.



Fig.4.11: Conector FC/PC

4.5.2 Empalmes

Actualmente la técnica empleada, es la de empalmes por fusión; en este tipo de empalmes las pérdidas son de aproximadamente 0.3 dB. Las empresas que instalan la fibra óptica poseen estos costosos equipos, cada instrumento posee un microscopio el indica si las fibras a empalmarse están correctamente alineadas, su margen de error es despreciable debido a la precisión. Esta máquina tiene tres puertos y cada puerto tiene acceso para empalmar dos cables máximo.

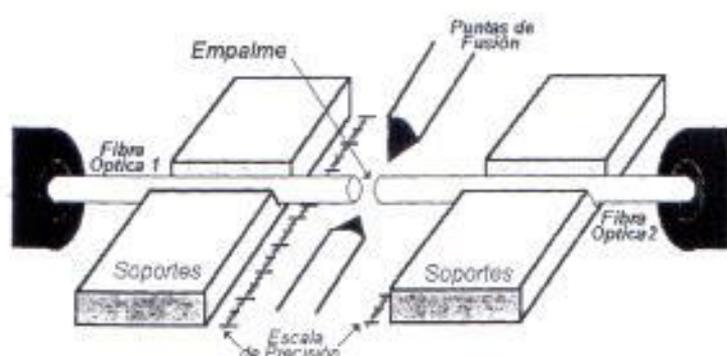


Fig. 4.12: Empalme por fusión

Los extremos de las fibras son alineados frente a frente en una guía en V, como muestra la figura 4.12, al calentar durante fracciones de 2000°C, se realiza la fusión y la soldadura.

4.6 ACCESORIOS

Entre accesorios empleados para la colocación del cable de fibra óptica para los tendidos, tanto aéreos como subterráneos tenemos los siguientes.

4.6.1 Tirador de cables de fibra óptica

Proporciona una tracción segura y exacta de los cables de fibra óptica contando para ello con un indicador de presiones electrónico.

Estos tiradores constan de un cabrestante de 76.2 cm de diámetro, motor hidráulico, pedal de control de velocidad variable, válvula manual de control del caudal para ajustar la velocidad máxima y una válvula de presión ajustable manualmente para ajustar la última tensión de tracción también se incluye un contador de longitudes en metros.

Cuenta también con un sistema de control electrónico de tracción opcional con límites de carga digitales ajustables. El sistema de control electrónico mide directamente el momento de rotación en el motor, como muestra la figura 4.13, indicando así las fuerzas reales de tracción del cable.

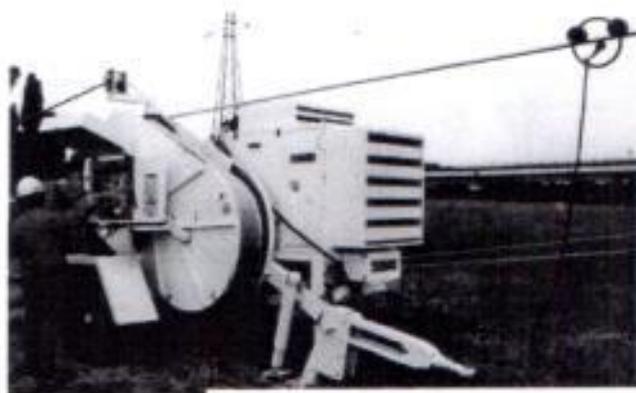


Fig. 4.13: Tirador de cables de F.O.

Los límites del cable están acoplados a una alarma audible y corte automático del tirador con retención de carga.

Este equipo sirve para pasar el cable de F.O a través de los ductos subterráneos y además para el tendido aéreo.

Antes de arrastrar el cable y mientras éste esté todavía en el carrete, se deberán examinar todas las fibras ópticas del cable con un OTDR y un adaptador de fibra desnuda, para asegurarse de que son aceptables.

4.6.2 Amarres aéreos

CLDLC-4: Es un soporte para bajada de cable, se lo utiliza para montajes de superficies planas (paredes)

CLDLCT-4: Constituye un soporte para bajada de cables, incluye herrajes para montaje en torres.

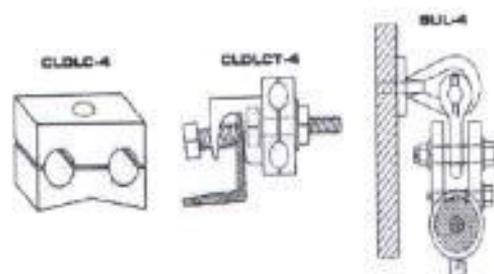


Fig. 4.14: Soportes para cables aéreos

SUI-4 (Estándar); SUIH-4: Son unidades de suspensión intermedia, especialmente diseñadas para gran separación de postes (Mayores a 76.2 m), zonas de vientos fuertes y/o cambios de pendientes mayores a 15 grados.

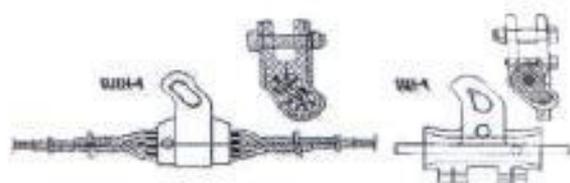


Fig. 4.15: Unidades de suspensión para postes

DESH-4: Es un amarre terminal, diseñado como espiral amortiguador para espacios extra largos (Más de 152.5 m).



Fig. 4.16: Amarres terminales para postes

4.6.3 Conductos para el cable

Un cable de fibra óptica se puede tender dentro de sistemas de canalización. Los conductos o tuberías proporcionan al cable protección y facilita la colocación y eliminación de cables adicionales en las rutas.

La mayoría de las canalizaciones se construyen con polietileno de alta densidad (PVC). Los conductos son frecuentemente de color negro o gris.



Fig. 4.17: Conductos para cables

Los subconductos son el naranja brillante o el amarillo, que se los identifica como conductos de fibra óptica. Dentro y fuera de los conductos y de los subconductos hay salientes longitudinales o corrugados. Estos salientes ayudan a disminuir las tensiones de tracción durante la instalación. El tipo corrugado es muy flexible y puede utilizar en emplazamientos con muchas vueltas o curvas.

En el caso de nuestro proyecto, en lo que tiene que ver con el tendido enterrado, se usó un tipo de manguera de polietileno, como especie de subducto para proteger la fibra óptica instalada. Este tipo de material es muy resistente a la humedad y a altas presiones de sobrecarga o aplastamiento.

4.6.4 Cajas de empalmes

Esta máquina sirve para unir los tramos de cables tanto aéreo como subterráneos, está diseñada para el manejo de empalmes tipo fusión o mecánicos.



Fig. 4.18: Caja de empalme aéreo

4.6.5 Guías para cables de F. O. (Cojinetes)

La garrucha desviadora protege el cable de F. O. durante la instalación. Como muestra la figura 4.19, son cojinetes de bronce que permiten que el cable haga una vuelta gradual de 90° para facilitar la tracción en la boca de la cámara subterránea.



Fig. 4.19: Guía o cojinete para F.O.

La roldana de suspensión para cables de F. O. hecha de plástico de PVC de excelente calidad no daña el forro del cable, y está provista de un brazo de suspensión en una cámara subterránea par una colocación más flexible de la fibra.

4.6.6 Máquina zanjadora para tendido enterrado

Esta máquina se encarga de realizar todo el tendido enterrado, como se aprecia en la figura 4.20. Aquí la máquina, procede a realizar la excavación del tamaño requerido (diámetro del cable); coloca el cable, se encarga de poner también de poner señalizaciones de tendidos de fibra óptica y luego ella mismo se encarga de proceder al cierre y taponamiento de la zanja. Este método se lo realiza generalmente en zonas rurales, en donde no existe infraestructura de canalización y en algunas ocasiones tampoco existe infraestructura de postería, resultando mucho más económico.



Fig. 4.20: Máquina Zanjadora para tendido enterrado

CAPITULO 5

OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para entender mejor el diseño de la red propuesta basada en F.O., la misma que utiliza un equipo que maneja tramas tipo STM16, se procederá a explicar el principio sobre el cual estos equipos basan su funcionamiento, así como sus principales características técnicas.

En la Fig. 5.1 se muestra un esquema de los subsistemas empleados por los equipos SDH.

Los tipos y características generales de los equipos de multiplexación SDH están especificadas en la norma G.782. Las características de los bloques funcional de los equipos de multiplexación SDH están especificados en la norma G.783.

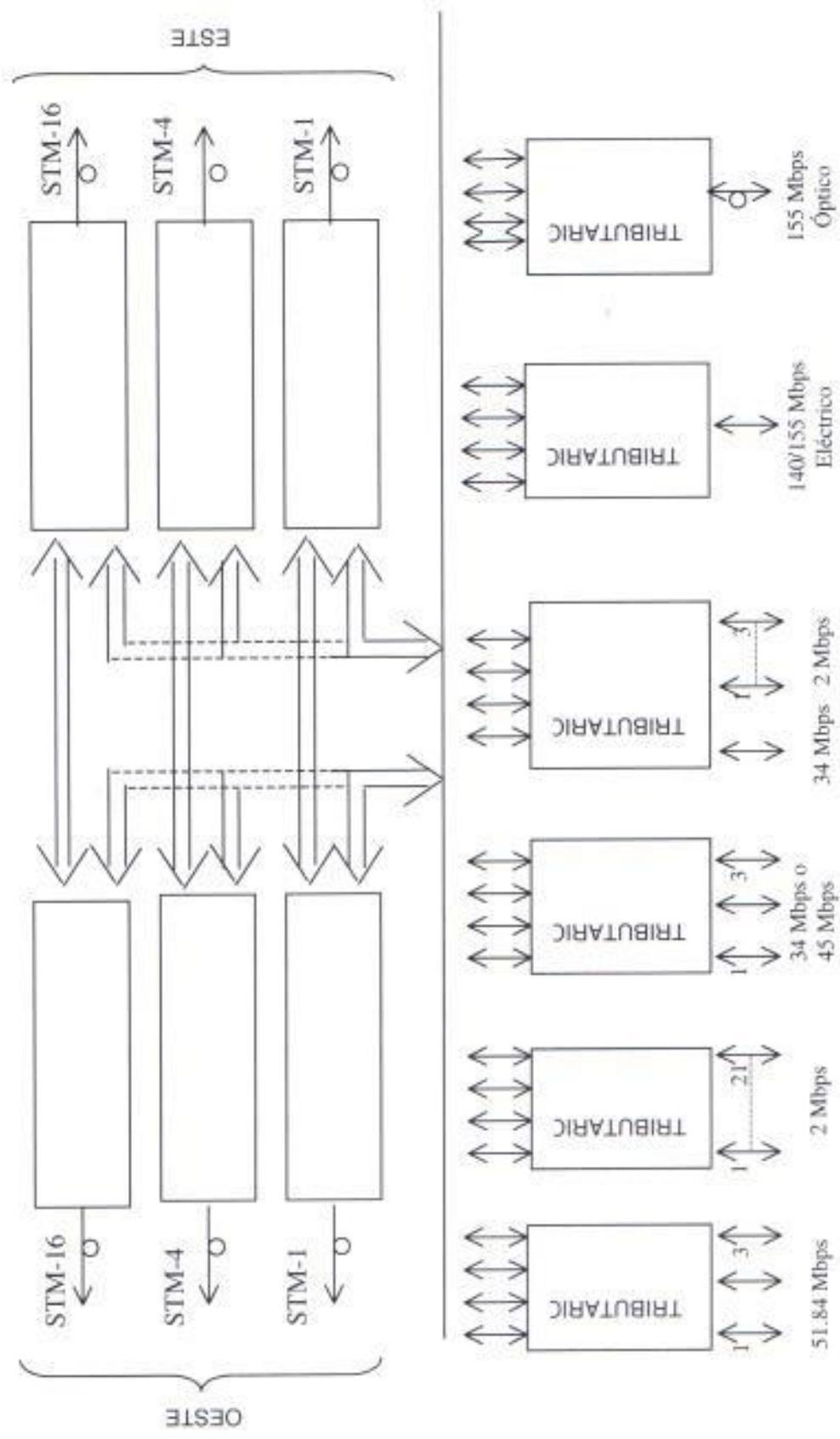


Fig. 5. 1: Esquema de los Subsistemas Utilizados en Equipos SDH

5.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL EQUIPO DE LA JERARQUÍA SDH

De manera general los equipos que manejan las jerarquías SDH se basan funcionalmente en los siguientes subsistemas:

- Subsistema agregado STM1
- Subsistema agregado STM4 (no está presente en un STM1)
- Subsistema agregado STM16 (no está presente en un STM4)
- Subsistema Tributario
- Subsistema de protección automática, que se lo obtiene con las unidades de reserva y los circuitos de las unidades funcionales.
- Subsistema de sincronización (unidad de referencia del reloj)
- Subsistema auxiliar y de control. Se obtiene con la unidad AUX y con las conexiones OH-BUS logradas con las unidades funcionales.
- Subsistema de control. Se consigue mediante el controlador de equipo, que interconecta las subunidades controlador de tarjeta dentro de todas las unidades (salvo la unidad de alimentación), y el terminal Craft (Interfaz F), el Centro de administración (interfaz QB3), y el equipo plesiócrono.
- Subsistemas de alimentación

5.1.1 Subsistema agregado STM -1

Este subsistema puede funcionar como una interfaz bidireccional entre la fibra óptica/cable eléctrico y las señales de tributario.

La señal STM-1 (155 Mbps) está interconectada con:

- Lado Oeste, normal (1 unidad)
- Lado Oeste, de reserva (1 unidad)
- Lado Este, normal (1 unidad)
- Lado Este, de reserva (1 unidad)

Las configuraciones permitidas son:

- Multiplexor Terminales
- Multiplexores Add/drop
- Multiplexores Cross-Connect

Los tipos de unidades de agregados STM-1 utilizados pueden ser:

- Agregado STM-1 – 1310 nm de larga distancia (L1.1)
- Agregado STM-1 – 1310 nm de corta distancia (S1.1)
- Agregado STM-1 – 1550 nm de larga distancia (L1.2)
- Agregado eléctrico STM-1

Se permite una transmisión bidireccional en una fibra única si se usa un acoplador pasivo externo. La dirección de transmisión se determina usando los bits no asignados del byte S1.

Unidades de Agregado Óptico STM-1

Esta unidad convierte el formato de plano posterior (VC-4) en el formato de línea óptica STM-1.

La conversión se la realiza de la siguiente manera:

- Encamina los tributarios físicos a las ranuras del byte objetivo en la trama STM-1

- Adapta los contenedores VC de orden inferior al formato de plano posterior VC-4 de orden superior procesando el indicador TU y montando/desmontando el VC-4 completo.
- Termina los controles de vías VC4 añadiendo/extrayendo el POH VC al/del contenedor pertinente.
- Procesa el indicador AU para indicar la fase del primer byte del POH VC relativa al primer byte del STM-1 y monta/desmonta la totalidad de la trama STM-1.
- Administra los bytes SOH de la sección multiplex (MSOH). Transmisión: genera y añade las últimas cinco filas del SOH. Recepción: verifica la integridad de la señal entrante de nivel multiplex calculando la paridad B2 y vigilando MS-AIS y MS-FERF.
- Administra los bytes de control de sección de la sección de regeneración (RSOH). Transmisión: genera y añade las primeras tres filas del SOH. Recepción: verifica la integridad de la señal entrante de nivel regenerador buscando el patrón de trama correcto y calculando la paridad B1.
- Conversión de la señal eléctrica/óptica y detección de la paridad de señal de línea entrante en la entrada de recepción.

Existe una función de control de tarjeta para cargar el preajuste de la configuración, vigilar el estado actual y recolectar datos para la vigilancia del rendimiento.

Agregado Eléctrico STM-1

Esta unidad convierte el formato de plano posterior en el formato de línea codificada CMI del STM-1 eléctrico.

Las funciones del plano posterior al cable de cobre son como aquellas del agregado óptico salvo que no efectúa una conversión de E/S de la señal de línea, sino que efectúa una codificación NRZ/CMI.

5.1.1 Subsistemas agregados STM-4 y STM-16

Estos subsistemas funcionan como una interfaz bidireccional (transmisión/recepción) entre la fibra óptica y las señales de tributario.

Las características de interconexión, configuraciones y funcionamiento del *STM-4* (622 Mbps) y *STM-16* (2.5 Gbps) son similares a las descritas en el numeral "5.1.1 Subsistema agregado STM-1", la diferencia radica en la capacidad de información que pueden procesar cada uno de estos equipos.

5.1.2 Subsistema Tributario

Los equipos SDH pueden soportar tributarios de 2, 34, 45, 51, 140 y 155, 622 Mbps y 2.5 Gbps dependiendo del tipo de equipo que se utilice. En los equipos que manejan hasta STM4, cada tablero de tributario maneja un ancho de banda de 155 Mbps hacia los buses internos. Los equipos que manejan STM16 tienen entradas 2.5 Gbps en la sección regeneradora.

La tasa de bits para la jerarquía SDH está determinada por la norma G.707.

Unidad de tributario de 21 x 2 Mbps

Las funciones bidireccionales de esta unidad son las siguientes:

- Interconecta la señal de 2 Mbps con la fuente externa extrayendo temporización (en el lado transmisor).
- Extrae/Inserta la señal plesiócrona de 2 Mbps del/al contenedor sincrónico C12.
- Administra el byte de control (POH) estructurando por lo tanto el contenedor virtual VC12.
- Procesa el indicador de la TU12

- Interconecta cualquier posición de la trama STM-1 que interconecta los agregados.
- Escoge entre las unidades principales/de reserva y el lado Este/Oeste de la señal recibida de los agregados.

Unidad de tributario de 3 x 34 Mbps

Esta unidad realiza funciones similares a las descritas en la “Unidad de tributario de 21 x 2 Mbps”, pero en lugar de utilizar el contenedor C12 y armar el VC12, utiliza el contenedor C3 y arma el VC3

Unidad de tributario de 140 – 155 Mbps

La unidad se puede utilizar para un tributario plesiócrono de 140 Mbps o para un tributario sincrónico eléctrico de 155 Mbps. Las funciones bidireccionales de esta unidad son:

Funcionando como 140 Mbps

- Inserta la señal plesiócrona de 140 Mbps en el contenedor sincrónico C4
- Administra el byte de control POH, estructurando por lo tanto el contenedor virtual VC4.
- Genera un indicador AUOH fijo
- Escoge entre las unidades principal/de reserva y el lado Este/Oeste de las señales recibidas de los agregados.

Funcionando como 155 Mbps

- Administra las 3 primeras líneas del SOH
- Administra las últimas cinco líneas del SOH
- Procesa el indicador AU4.

- Escoge entre las unidades principal/de reserva y el lado Este/Oeste de las señales recibidas de los agregados.

5.1.3 Subsistemas de Protecciones Automáticas

Los equipos SDH están equipados con protecciones de conmutación automática administrada por la unidad controladora del equipo. Las protecciones se activan tras la detección de una alarma para garantizar la fiabilidad del sistema. Para conmutar, los equipos están provistos de una unidad de reserva y de los circuitos y dispositivos adecuados.

Las protecciones pueden ser de los siguientes tipos:

- Conmutación de protección de equipo, utilizada al nivel de unidad
- Protección de red - trayecto lineal, utilizado principalmente en las conexiones punto a punto en la sección multiplex y activada por una falla de la vía.
- Protección de red - conexión de subred, utilizada principalmente en las condiciones en anillo en la sección multiplex y activada por una falla de la vía
- Protección de alimentación, se puede utilizar dos unidades de alimentación (ambas en funcionamiento), pero sólo una puede alimentar el equipo totalmente equipado.

La Fig. 5.2 ilustra un ejemplo de protección utilizado para el tributario 3x34 Mbps.

Conmutación de protección de equipo

La protección funciona al nivel de la unidad y permite cambiar a una unidad de reserva según las siguientes disposiciones:

- Unidad de tributario de 21x2 Mbps: conmutación $n + 1$
- Unidad de tributario de 3x34 Mbps: conmutación $1 + 1$
- Unidad de tributario de 140 Mbps: conmutación $1 + 1$

- Interfaz óptica de 155 Mbps: conmutación 1 + 1

La conmutación ocurre tras un criterio de falla asociado con una falla de la unidad o fallas internas (ausencia de tarjeta, falta de adaptación, tarjeta que no responde).

El comando de conmutación para las unidades de tributario es del tipo software. Este comando es generado por la unidad controladora de equipo según los criterios de alarma recibidos de las demás unidades.

Con respecto a la unidad de referencia de reloj (URR), la conmutación implica todas las unidades que procesan los sincronismos recibidos de la URR, es decir, tributarios, agregados, AUX, sin intervención de la unidad controladora de equipo.

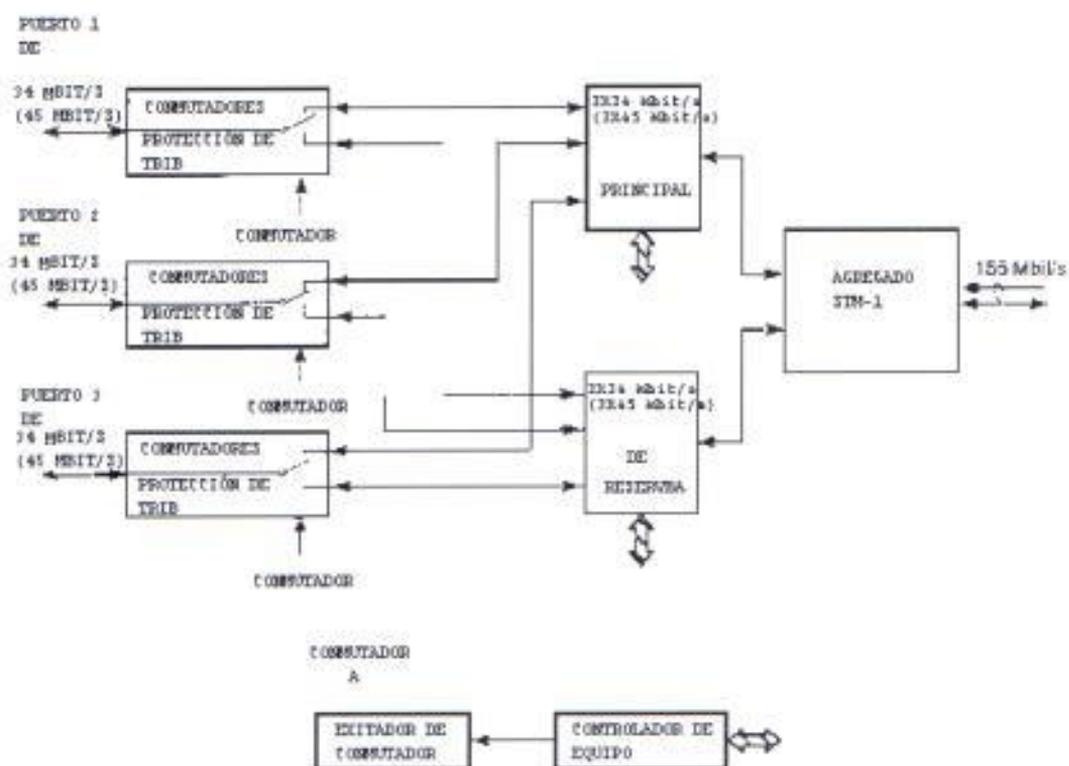


Fig. 5.2: Ejemplo de Protección Utilizado para el Tributario 3x34 Mbps.

Protección de línea

La protección de línea es un sistema de conmutación 1 + 1, en donde la misma señal es transmitida sobre dos líneas separadas. En el lado receptor una de las dos señales es automáticamente seleccionada.

Protección de caminos

Bajo esta protección, la señal es transmitida sobre dos diferentes vías y la protección puede ser implementada en estructura lineal o anillo.

El criterio para la conmutación de la protección (evaluación del path overhead) es definido individualmente cuando el equipo de línea es configurado.

Protección de anillo

La conmutación de protección en anillo es posible como lo es para las líneas y caminos gracias a la facilidad extra de conmutación de auto protección bidireccional en anillo.

Con una falla en un sección multiplex los datos de la señal es regresada en lazo en ambos entremos de la sección de falla a través del camino de protección.

5.1.4 Monitoreo y señalización de las Alarmas

Los equipos SDH están protegidos por un sistema de monitoreo controlado por un microprocesador, cuyas características de funcionamiento se rigen por los estándares de las recomendaciones G.781 a G.784 del CCITT.

Los estados de alarma y fallas detectados por los multiplexores son evaluados en la unidad de monitoreo central de cada equipo y son entregados a los equipos de monitoreo y display, vea Fíg. 5.3.

Cada subrack está equipado con un panel de control y display para la indicación de informes de alarmas y fallas por medio de LEDs. El panel de control puede entregar texto alfanumérico en un display de doble línea que anuncia la presencia de alarmas.

El módulo de control y display puede también usarse para ejecutar varias funciones operativas (por ejemplo encendido de láser) y para interrogar valores medidos en modo interactivo. Las señalizaciones pueden ser del tipo 7R.

Se puede conectar un terminal operativo a través de su puerto RS-232 a los equipos SDH y así tener una interfaz gráfica de los errores que están ocurriendo,

5.1.5 Gestión de la red

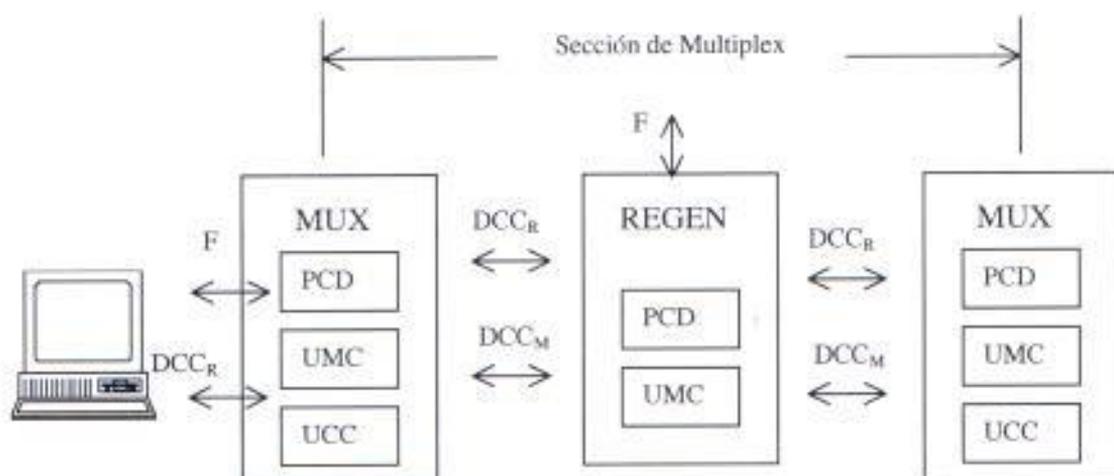
En la figura 5.3 se muestra los equipos de monitoreo y las interfaces de equipos multiplexores y regeneradores. El canal de comunicaciones de datos DCC_R (byte D1 a D3) es el responsable del monitoreo de línea, y el canal de comunicaciones de datos DCC_M (byte D4 a D12) puede usarse para la gestión de la red.

Se puede tener acceso a todos los equipos de área de red manejable mediante cada interfaz (F(OT)).

Los equipos están diseñados de modo que un terminal operativo no necesite estar conectado permanentemente durante la operación.

La conexión del equipo está preparada para la instalación de una interfaz Q según G.773 del CCITT. Esto permite que el equipo sea incorporado a una red gestión de telecomunicaciones.

El terminal operativo permite el manejo centralizado para el área de red, y el software de manejo del sistema presenta informes espontáneos desde todos los equipos de un área de red manejable directamente en el terminal operativo.



PDC: Panel de Control y Display

UCC: Unidad de conexión de canales

DCC_R: Canal de comunicación de datos(Regen.)

REGEN: Regenerador

UMC: Unidad de Monitoreo Central

DCC_M: Canal de comunicación de datos(Mux)

MUX: Multiplexor

Fig. 5.3: Equipos de Monitoreo e Interfaces de Equipo de Línea

5.2 INSTALACIÓN DE LA RED

El sistema de instalación de la red por fibra óptica, tipo diversidad de ruta, diseñado entre las estaciones telefónicas Central Centro (Correo - Guayaquil) y Cerro Santa Ana en Samborondón, se componen de: una instalación mecánica referida a los soportes de equipos en las estaciones designadas para el enlace, en cuanto a las interfaces de los equipos se debe considerar también lo que es su instalación eléctrica y óptica, la inserción misma del equipo en la red, las pruebas y funcionamiento del sistema.

5.2.1 Instalación mecánica

El bastidor o rack es una unidad de soporte para los módulos o equipos, su instalación se lleva a cabo atornillando la estructura al piso y al estante de cable planar que está colocado por encima de éste, se lo conecta a tierra, a través de éste estante y si no se

usa un estante de cable planar, se lo conecta directamente a la toma a tierra protectora existente.

El rack cuenta con subrack que son espacios dispuestos, donde se colocan los diferentes módulos o equipos.

Todos los cables de cobre, llámese: cables de conexión a la estación, cableado entre subracks y distribuidor de energía; deben ser guiados por los verticales laterales y los cables de fibra óptica por la parte trasera de los subracks. Esto garantiza la protección máxima posible para los cables de fibra óptica, especialmente si se agregan al rack subracks adicionales.

El distribuidor de energía se instala en la parte superior del montaje del rack, (ver fig. 5.4); éste debe incluir preferentemente:

- Bloques terminales en los que se pueda insertar hasta ocho interruptores de circuito y
- Panel terminal con conectores plug-in para la conexión de las línea de señalización de alarmas.

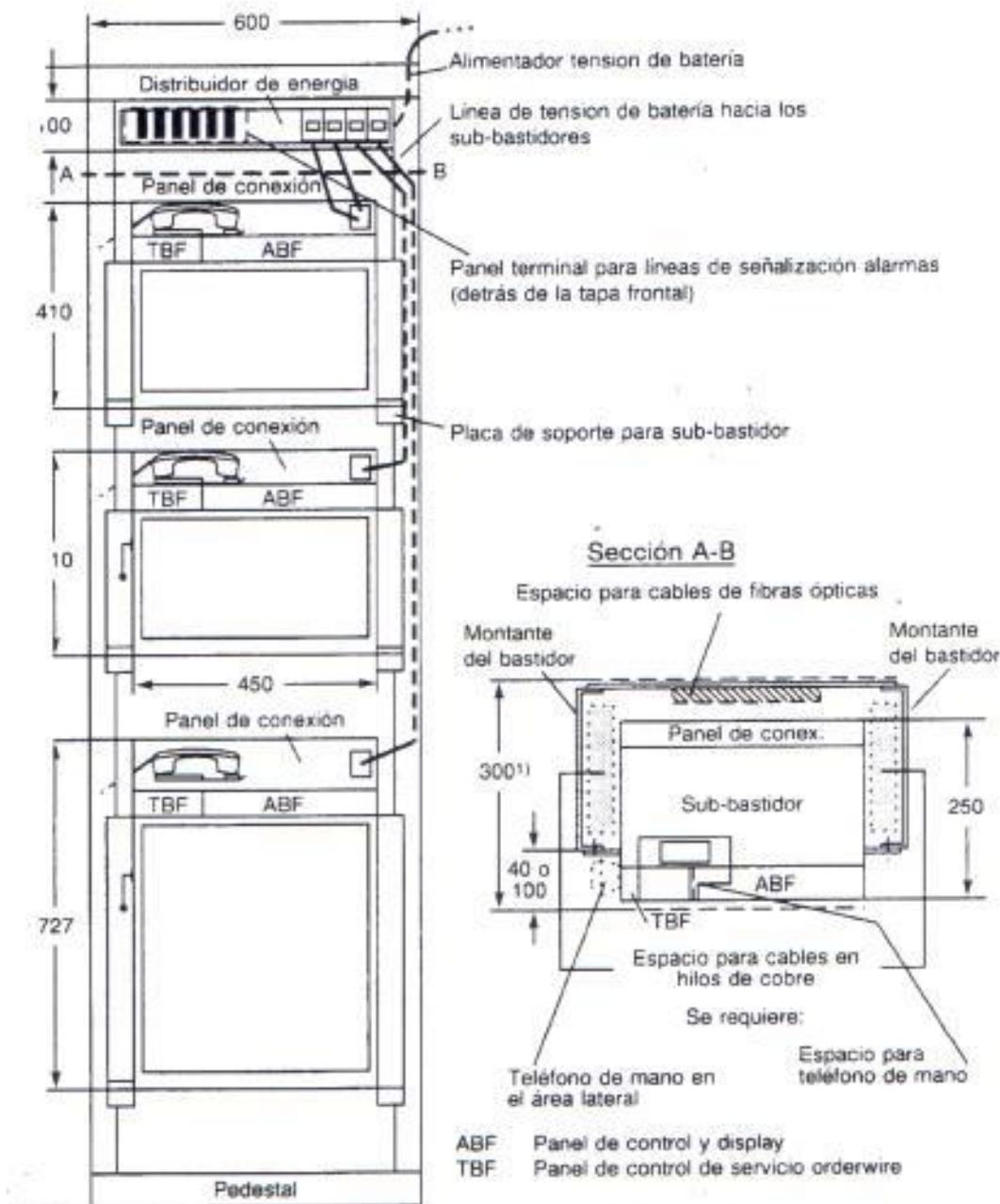


Fig. 5.4: Ejemplo de un Rack con Equipo Mixto y Ruta del Cableado

Luego todas las unidades en un sistema o subrack son unidades de conexión, exceptuando: el panel de control y display y el panel de control para canal de servicio orderwire que se atornillan; los cables son conectados de todos modos con conectores. Cada una de estas unidades de conexión contiene un strip conector SIEDECON por separado y de ser necesario incluye contactos como los conectores coaxiales.

5.2.2 Instalación eléctrica y óptica

El multiplexor de línea SLX1/16, está equipado con interfaces eléctricas en el lado F2. Se combinan cuatro entradas F2 en cada unidad de conexión del multiplexor, por ello hay cuatro salidas F2 en cada unidad de conexión del multiplexor. Las entradas y salidas pueden estar equipadas de distinto modo para las direcciones de transmisión y recepción, como muestra la figura 5.2.

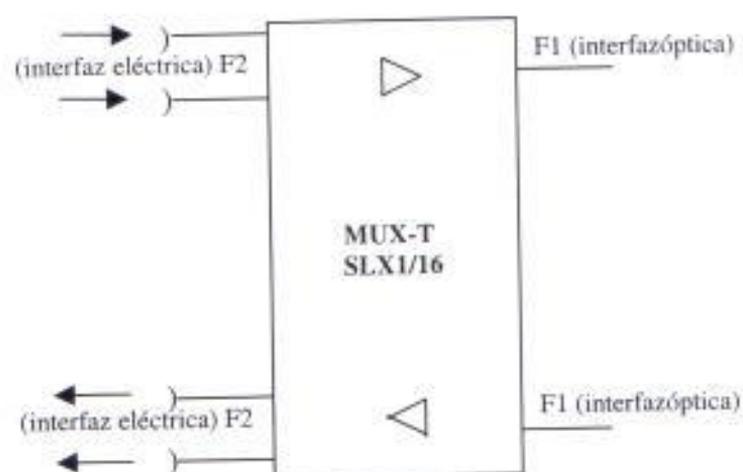


Fig. 5.5: Interfaz F1 y F2 externas del equipo SLX1/16 para la transmisión de carga útil

Cada entrada y salida individual puede seleccionarse entre una señal sincrónica STM-1 y una señal plesiócrona de tasa de bit nominal (140 Mbps) según la recomendación del CCITT. La conmutación de las interfaces al tipo de señal requerida se realiza con el terminal operativo o mediante un display y un panel de control directamente en el equipo.

Interfaz óptica F1 (entrada/salida) según CCITT G.707, G.708, G.709

Tasa de bit	2488,320 Mbps
Código	Binario NRZ aleatorizado

Interfaces eléctricas de 140 Mbps F2 (entrada/salida) según CCITT G.703

Tasa de bit	139,264 Mbps
Código	CMI
Voltaje nominal pulso Vp	1V
Ecualización admisible para atenuación de cable de fibra	12 dB a 70 MHz
Impedancia nominal	75 ohm
Jitter	CCITT G.823

Interfaces eléctricas de 155 Mbps F2 (entrada/salida) según CCITT G.703

Tasa de bit	155,520 Mbps
Código	CMI
Voltaje nominal Vpp	1V
Ecualización admisible para Atenuación de cable f	12,7 dB a 78MHz
Impedancia nominal	75 ohm desbalanceado
Jitter	CCITT G.958

Interfaz óptica de 155 Mbps F2 (entrada/salida) para CCITT G.957

Tasa de bit	155,520 Mbps
Código	Binario NRZ
Nivel de transmisión	-8 a -15 dBm
Longitud de onda de emisión	1,300 nm
Atenuación óptica permitida Para línea de tributario	12 dB

5.2.3 Inserción del equipo en la red

Una vez que se ha finalizado la instalación del rack y el equipamiento del subrack, el equipo SLX1/16 puede comenzar a funcionar.

La unidad SLX1/16 se entrega con la programación estándar de fábrica y puede ser operada con ésta. Se debe realizar entonces una configuración programable con la ayuda del terminal operativo. Esto comprende:

- Distribución de las direcciones del equipo
- Distribución de los datos de configuración de red

Configuración de los equipos para la colocación de los datos operativos del equipo: tipo básico del equipo, tipo de sistema, opciones de equipamiento y datos operativos de la unidad.

Mientras que la configuración del equipo y la distribución de las direcciones se deben realizar localmente en el SXL1/16 del área de red bajo gestión, los datos de configuración de red pueden distribuirse desde cualquier equipo del área de red manejable. Un área de red gestionable consiste en un máximo de 50 equipos de la red

de transmisión del SLXI/16 en el cual se puede tener acceso a todos los equipos por el terminal operativo mediante cada interfaz de equipo F(OT) o F(PC/OT) de los equipos participantes. Estos equipos deben estar interconectados mediante DCCr o el enlace DCCr link.

El panel de control y display y el panel de control orderwire no son necesarios para programar el equipo de línea. Las salidas de los informes de alarma de los equipos debe ser activada al entrar el terminal operativo antes de comenzar la operación. Luego de completar estas operaciones el equipo de línea sincrónico SLXI/16 está listo para operar.

Se puede implementar el control y el monitoreo de servicio de entrada mediante el terminal operativo así como el panel de control y display ABF y el panel de control orderwire TBF.

5.2.4 Pruebas y funcionamiento de red

Una vez que la instalación ha sido completada y está dispuesta para la conexión de los equipos, el ensayo de aceptación final consiste en conocer que el enlace funciona correctamente, así como los sistemas de alimentación de energía el cual incluye rectificadores, banco de baterías, sistema de aire acondicionado, sistema de tierra, y sistema de detección de incendio y sus correspondientes alarmas.

Este ensayo final suele realizarse dirigido por el mismo ingeniero, o por técnicos supervisados por ingenieros que están presentes.

Se realiza el siguiente ensayo en toda la longitud de la instalación y para cada fibra óptica:

1. Se conecta un OTDR a un extremo del enlace de la fibra óptica.
2. Se explora el enlace completo, y se memorizan las trazas. Se registra y graba la siguiente información obtenida a todas las longitudes de onda operativas:

- Atenuación total a lo largo del enlace
- Atenuación por Kilómetro
- Trazas obtenidas de la fibra
- Pérdidas en los empalmes
- Pérdidas en los conectores
- Longitud total del enlace obtenida de las marcas propias del cable
- Longitud total del enlace obtenida mediante el OTDR
- Fabricante del cable, tipo de cable, número de fibras en el cable
- Dirección en la que se efectúa la medida
- Fecha de la prueba
- Equipos de ensayo y números de series de los mismos
- Equipos de componente humano

5.3 MANTENIMIENTO DE LA RED

Debería efectuarse un mantenimiento regular de un sistema de fibra óptica a fin de garantizar su funcionamiento. La mayor parte del trabajo de mantenimiento se puede llevar a cabo sin afectar la operatividad del sistema. Otras pruebas, como la medida del nivel de potencia óptica, requieren la interrupción del servicio.

5.3.1 Instrumentos y accesorios

- Reflectómetro OTDR, sirve para obtener las características de la fibra óptica como son: atenuación, distancia, pérdidas en empalmes, las pérdidas en los conectores y localización de anomalías.
- Laguillos y cables de conexiones de ensayo
- Herramienta cortadora
- Peladoras de cables y de fibras
- Fibra para zona muerta
- Líquido o gel para adaptación del índice de refracción
- Conectores adecuados
- Adaptador de fibra desnuda
- Medidor de Potencia
- Medidor de BER

5.3.2 Mantenimiento preventivo aéreo, enterrado y canalizado

El sistema de fibra óptica deberá ser inspeccionado, visualmente al menos una vez al año. Los cables de interconexión y las curvaturas de los cables deberán ser comprobados para asegurarnos de que no están comprometidos los valores de los radios de curvatura mínimos.

Los cables de conexión deberán ser almacenados ordenados o asegurados en bandejas para cable. No encintarlos o doblarlos en exceso, nunca deberán formar nudos o cocas.

Los cables de fibras ópticas que se encuentran doblados deberán ensayarse para asegurarnos de que no lo están en exceso. Los recubrimientos de los cables de fibra óptica deberán ser inspeccionados sobre posibles averías, como cortes, rasgaduras o deformaciones. Bajo condiciones normales, la atenuación de una fibra se mantiene constante durante muchos años.

Los tendidos aéreos de cable de fibra óptica pueden ser observados visualmente, sobre cualquier posible avería del cable fiador o de la estructura de los soportes. Los cables aéreos a cierta altura son propensos a averías, ya que están sometidos a efectos del viento y del hielo, así como a averías causadas por las aves, roedores seres humanos o disparos de armas.

En las arquetas de los cables subterráneos se deben inspeccionar la integridad de los cables y soportes así como los efectos de la corrosión.

Deben ser revisados la totalidad de los sellados de las tuberías de cables, conductos, y subconductos. No debe permitirse que entre agua en los conductos, subconductos tuberías de cables de fibra óptica.

Mantenimiento correctivo aéreo, enterrado y canalizado

El mantenimiento que afecta al servicio, es el mantenimiento correctivo, ya que debe ser realizado con la frecuencia que indica el fabricante en las especificaciones.

Las fibras operacionales deben ser desconectadas y medidas las atenuaciones de las fibras mediante un OTDR y un generador de medidor de potencia óptico. Estos resultados de las medidas deben ser comparados con los datos registrados anteriormente nuestra instalación y determinar la posibilidad de un incremento de la atenuación. La potencia de salida de los equipos ópticos puede ser verificada y comparada con los datos ya registrados y determinarse el número de horas de vida de los láseres o los LEDs correspondientes.

La potencia reflejada en las fibras ópticas puede ser medida para asegurar un funcionamiento estable del láser (solamente en fibras monomodos). El umbral de recepción puede también ser ensayado y comprobado, así como el BER, por comparación con los valores registrados anteriormente.

ANALISIS 1

Tabla 6. 1: Presupuesto Referencial del Equipo y sus Accesorios

EQUIPOS PRINCIPALES		Costo (USD)	
Dispositivo	Cantidad	Unitario	Subtotal
ADM-16 (con 6 tarjetas de 140Mbps con respaldo)	2	144.000,00	288.000,00
PC	1	4.500,00	4.500,00
Programa TMN	1	2.824,00	2.824,00
Instalación de equipos			44.298,60
CostoTotal			339.622,60

Tabla 6. 2: Presupuesto Referencial del Tendido de Cable de F.O. Aéreo y Canalizado/Enterrado y sus Accesorios

TENDIDO AEREO				
Dispositivo	Modelo	Cantidad	Unitario	Subtotal
Fibra Optica	Monomodo (24 hilos)	40000 (metros)	6,00	240.000,00
Empalmes		15	350,00	5.250,00
Conectores	FC/PC	4	40,00	160,00
Instalación				36.811,50
CostoTotal				282.221,50

TENDIDO CANALIZADO Y ENTERRADO				
Dispositivo	Modelo	Cantidad	Unitario	Subtotal
Fibra Optica	Monomodo (24 hilos)	43000 (metros)	6,00	258.000,00
Empalmes		17	385,00	6.545,00
Conectores	FC/PC	4	40,00	160,00
Instalación				39.705,75
CostoTotal				304.410,75

*Considerando que la bobina del cable de fibra óptica es de 2500 metros.

Como ya se ha explicado anteriormente el equipo que utilizamos nos permite tener un sistema de respaldo eléctrico de 140 Mbpseg., que se enviará por medio de los radios instalados actualmente en cada estación. En la siguiente tabla se da un enfoque del costo del sistema de microondas.

Tabla 6. 3: Presupuesto Referencial del Respaldo por Microondas con sus Accesorios

EN ESTACIÓN STA. ANA (SAMBORONDÓN)			
EQUIPOS	CANT.	UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
Transreceptor 140 Mbps	7	17.396	121.772
Bastidor de Conmutación hasta config. 6+1	1	30.152	30.152
Unidad mux 34/140 Mbps con conectores	6	1.590	9.540
Antena 1.8 m. Standard	2	3.494	6.988
Costo Total			168.452

ESTACIÓN GUAYAQUIL (CORREO - EL CARMEN)			
EQUIPOS	CANT.	UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
Transreceptor 140 Mbps	7	17.396	121.772
Bastidor de Conmutación hasta config. 6+1	1	30.152	30.152
Unidad mux 34/140 Mbps con conectores	6	1.590	11.130
Antena 1.8 m. Standard	2	3.494	6.988
Sistema de Fibra Optica	1	359.710	359.710
Costo Total			529.752

Tabla 6. 4: Presupuesto Total del Respaldo por Microondas

RESPALDO POR MICROONDAS	
	Costo (USD)
Estación Sta. Ana (Samborondón)	168.452
Estación Guayaquil (Correo - El Carmen)	529.752
Costo Total	698.204

Tabla 6. 5: Presupuesto Total del Proyecto (Análisis 1)

COSTO TOTAL DEL ENLANCE	
	Costo \$.
Equipo	339.622,6
Tendido Aéreo	282.221,5
Tendido Canalizado/Enterrado	304.410,75
Sistema de Respaldo	-----
Costo Total	926.254,85

ANALISIS 2

Se realizó otro tipo de análisis de costos referenciales, en el caso de que se quiera dar directamente servicio con flujos de 34 Mbpseg, los valores de instalación del equipo con sus accesorios y tendido el cable con sus accesorios y elementos complementarios eliminando de así la posibilidad de utilización de respaldo por microondas. Estos costos referenciales se lo muestra en la tabla 6.6, tabla 6.7, tabla 6.8.

Tabla 6. 6: Presupuesto Referencial del Equipo y sus Accesorios

EQUIPOS PRINCIPALES		Costo (USD)	
Dispositivo	Cantidad	Unitario	Subtotal
ADM-16(con 8 tarjetas de 34 Mbps)	2	139.000,00	278.000,00
PC	1	4.500,00	4.500,00
Programa TMN	1	2.824,00	2.824,00
Instalación de equipos			44298,60
CostoTotal			329.622,60

Tabla 6. 7: Presupuesto Referencial del Tendido de Cable de F.O. Aéreo y Canalizado/Enterrado y sus Accesorios

TENDIDO AEREO				
Dispositivo	Modelo	Cantidad	Unitario	Subtotal
Fibra Optica	Monomodo (24 hilos)	40000 (metros)	6,00	240.000,00
Empalmes		15	350,00	5.250,00
Conectores	FC/PC	4	40,00	160,00
Instalación				36.811,50
CostoTotal				282.221,50

TENDIDO CANALIZADO Y ENTERRADO				
Dispositivo	Modelo	Cantidad	Unitario	Subtotal
Fibra Optica	Monomodo (24 hilos)	43000 (metros)	6,00	258.000,00
Empalmes		17	385,00	6.545,00
Conectores	FC/PC	4	40,00	160,00
Instalación				39.705,75
CostoTotal				304.410,75

*Considerando que la bobina del cable de fibra óptica es de 2500 metros.

Tabla 6. 8: Presupuesto Total del Proyecto (Análisis 2)

COSTO TOTAL DEL ENLANCE	
	Costo \$.
Equipo	329.622,6
Tendido Aéreo	282.221,5
Tendido Canalizado/Enterrado	304.410,75
Costo Total	916.254,85

Realizando la comparación de precios de los dos análisis a través de la tabla 6.9 nos damos cuenta que el costo referencial del análisis 1 es más caro que la del análisis 2, pero no solamente nos debemos de guiar por el costo sino también por la capacidad de transmisión de los equipos. El equipo del análisis 1 proporciona adicionalmente un respaldo de señales eléctrica que permitirá utilizar el sistema de microondas vigente, y principalmente que la inversión que se realice tiene una rápida capacidad de recuperación de la misma, pues sería más rentable debido a que el equipo estaría trabajado con capacidades superiores y puede brindar más servicios.

Tabla 6. 9: Comparación de Costos entre los Analisis 1 y Analisis 2

	COSTO (USD)	CAPACIDAD DE FLUJO DE LAS TARJETAS MUX
Análisis 1, ADM16 (140 Mbps)¹	926.254,85	840 Mbps
Análisis 2, ADM16 (34 Mbps)²	916.254,85	272 Mbps
1.- Utiliza 6 tarjetas Multiplexoras de 140Mbps		
2.- Utiliza 8 tarjetas multiplexoras con 3 entradas de 34 Mbps		

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta el tráfico existente (840 Mbps), la capacidad de la fibra óptica (mayor a 2.5 Gbps), las rutas de las fibras y el costo/beneficio de los equipos aquí presentados, se puede concluir lo siguiente:

Que para satisfacer la demanda inicial e inclusive duplicar su capacidad de tráfico para atender demandas futuras y/o nuevos servicios se requiere de un equipo SDH que maneje 16 tramas STMI, lo que da una capacidad total de 2.5 Gbps, el mismo que brindará un respaldo por diversidad de ruta.

La diversidad de ruta recomendada es vía aérea y canalizada/enterrada siguiendo prácticamente el mismo trayecto debido a las condiciones geográficas existentes en la región a cubrir.

Se utiliza un tramo canalizada/enterrada debido a que parte del tramo a cubrir se encuentra en la zona céntrica de la ciudad de Guayaquil, y para este efecto se reutilizarán las canalizaciones que posee PACIFICTEL.

En cuanto a los equipos, de las dos alternativas propuestas, se sugiere la alternativa que toma en cuenta al sistema actual de microondas como sistema adicional de respaldo, pues además de ofrecer esta posibilidad, tiene como bondad el hecho de manejar directamente tributarios de orden superior, que como se sabe, las demandas de los usuarios y las nuevas tecnologías crecen aceleradamente, y bajo este esquema se pretende estar preparados para atender este crecimiento.

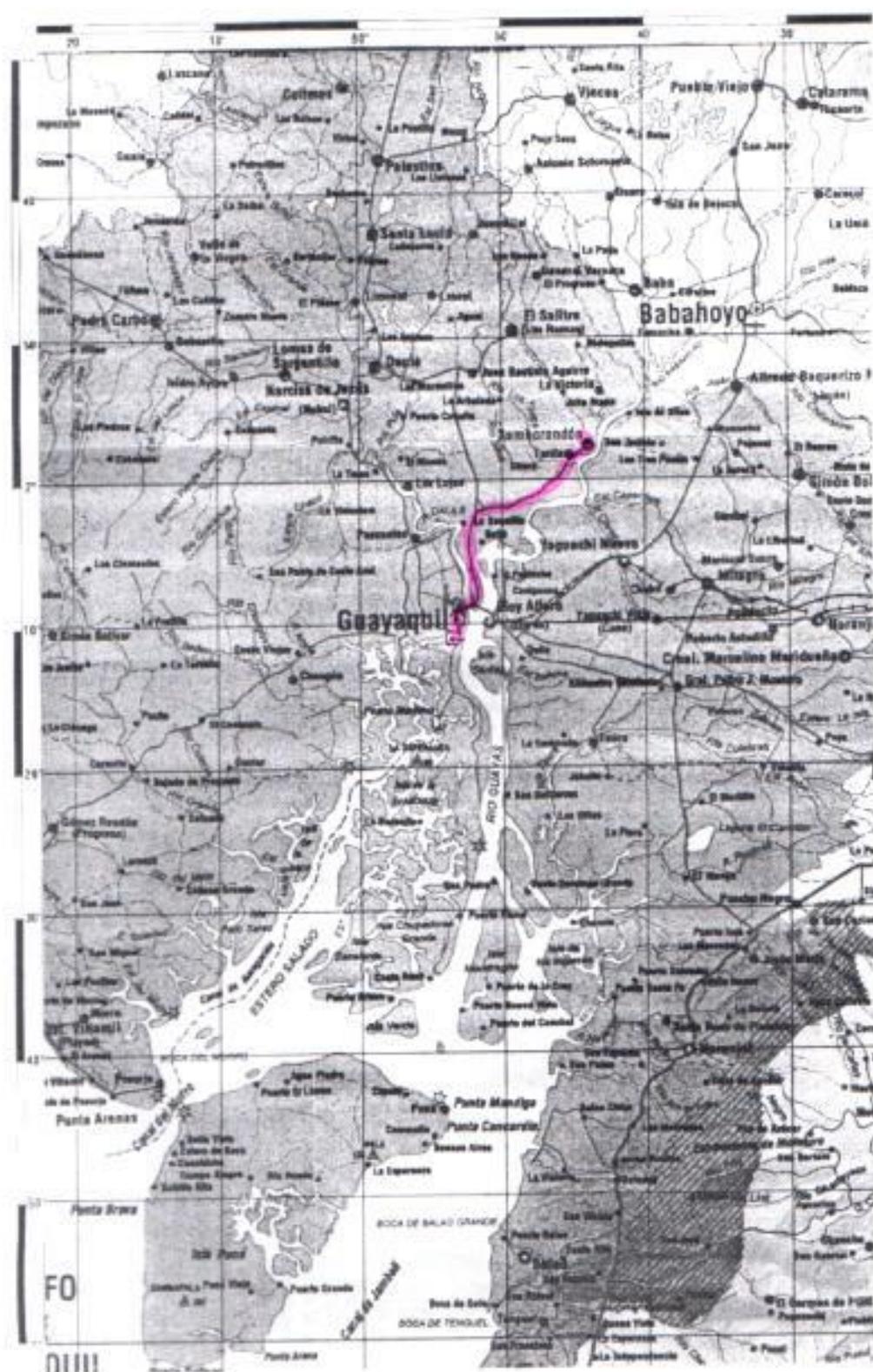
En el caso de que no exista suficiente inversión se podría tomar en consideración escoger la ruta más económica (aérea) como el flujo principal mientras que el sistema de microondas sería la alternativa de redundancia cuando el sistema presente alguna anomalía, para ello se utilizaría los equipos ADM-16 con redundancia eléctrica para que sea posible la conmutación de respaldo de línea.

ABREVIATURAS

ADM	Multiplexor Añadir/Extraer
ADSS	Cable aéreo autosoportado
AUG	Grupo Unidad Administrativa
DXC	Multiplexor Cross Connect
F. O.	Fibra Optica
FC/PC	Conector para fibra monomodo
LTE	Line Termination Equipment
MUX	Multiplexor
PDH	Jerarquía digital plesiocrona
PIN-APD	Receptor de luz tipo avalancha
PIN-PD	Receptor de luz tipo fotodiodo
PTE	Path Termination Equipment
SDH	Jerarquía digital sincrónica
SONET	Synchronous Optical Network
STE	Section Termination Equipment
STM	Modulo de transporte sincrónico
VC	Contenedor Virtual
FDDI	Fiber Distributed Data Interface

ANEXOS

PLANO TOPOGRAFICO GUAYAQUIL - SAMBORONDON



Ubicación de los puntos a enlazar

Cerro Sta Ana (Samborondon): Long. $79^{\circ} 45' 64''$ Lat. $1^{\circ} 55' 62''$

Guayaquil (Edif. del Correo): Long. $79^{\circ} 52' 45''$ Lat. $2^{\circ} 11' 30''$

BIBLIOGRAFIA

1. Andrew catálogo 37, Systems Planning/Product Specifications/Service
2. Comunicaciones de datos, redes de computadoras y sistemas abiertos por Fred Halsall.
3. Equipamiento de línea sincrónico SLA16, código 911-183/03, Manuales de Italtel, Italia.
4. Equipos y Herramientas para la instalación de cables, Condux
5. Instalaciones de Fibra, fundamentos técnicos y aplicaciones, por Bob Chomycz
6. Multiplexor sincrónico STM-1/STM-4 de inserción/extracción, Manual Técnico, Alcatel
7. Principios de comunicaciones ópticas, Escuela Politécnica del Ejercito, Ing. Margarita Villegas.
8. Synchronous Multiplexer Equipment, SMA-4, Manuales de Italtel, Italia.