



ACTIVO FIJO 155520



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“DISEÑO DE UNA RED DE BANDA ANCHA  
PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE  
TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DEL  
MERCADO ECUATORIANO ”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del título de :**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización : ELECTRÓNICA**

**Presentada por :**

**Stalin F. Sánchez Acebo**

**Carlos I. Guerrero Mosquera**

**Guayaquil – Ecuador**

**2001**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a DIOS por toda la sabiduría y salud que me ha concedido, también a mis padres por el apoyo moral e incondicional que me han brindado, y a todas las personas que de una u otra manera nos han ayudado en este proceso de elaboración de tesis.

**Carlos Guerrero M.**

Primero a Dios por su infinito amor, después a toda mi familia por todo el apoyo brindado, a mis profesores y a todos mis grandes amigos que me han acompañado durante esta etapa de mi vida

**Stalin Sánchez A.**

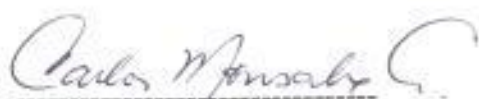
Primero a DIOS y después a mis padres.

**Carlos Guerrero M.**

### **DEDICATORIA**

Este triunfo se lo dedico a mis padres  
Zenón y Carlota, y a mis hermanos

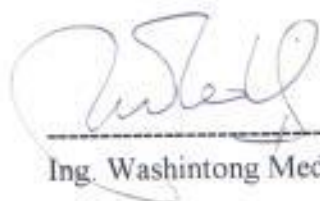
**Stalin Sánchez A.**

**TRIBUNAL DE GRADO.-**

Ing. Carlos Monsalve  
**PRESIDENTE**



Ing. César Yépez  
**DIRECTOR DE TESIS**

**MIEMBROS PRINCIPALES:**

Ing. Washintong Medina



Ing. Sergio Flores

**DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, nos corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

-----  
**Carlos Guerrero Mosquera**

-----  
**Stalin Sánchez Acebo**

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo establecer la base para una futura implementación de una red de banda ancha que abarque todos los mercados de nuestro país , ya que actualmente no existen estudios que satisfagan los requerimientos de transferencia de información entre ciudades , con tecnología de banda ancha y que brinden una solución compacta y completa.

Comenzamos este estudio estableciendo las bases teóricas sobre redes de banda ancha : protocolos de transmisión y transporte utilizados en estas redes. Además de esto todas las características del medio de transmisión que ha hecho posible el desarrollo de la banda ancha : La Fibra Óptica.

Continuamos con un análisis de mercado para seleccionar a las ciudades a las que se le brindará servicio y un estudio de la ruta que une dichas ciudades . Presentamos las características técnicas de nuestra red.

Además de esto realizamos un estudio de los aspectos legales que debemos tener en cuenta para la implementación y puesta en marcha de nuestra red de banda ancha.

Concluimos nuestro estudio con una comparación técnico económica con otros medios de transmisión.

## INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen .....	VI
Indice General.....	VII
Indice de Figuras.....	XIII
Indice de Tablas.....	XIV

**Capítulo 1**

<b>Arquitecturas de transmisión y transporte de datos.....</b>	<b>18</b>
1.1 Modos de transferencia.....	20
1.1.1 X.25.....	23
1.1.1.1 Servicio de circuito virtual.....	24
1.1.1.2 Formato de paquete.....	24
1.1.1.3 Multiplexación.....	27
1.1.1.4 Control de flujo y errores.....	28
1.1.1.5 Secuencia de paquetes.....	29
1.1.2 Frame Relay.....	30
1.1.2.1 Arquitectura de protocolos de Frame Relay.....	32
1.1.2.1.1 Plano de Control.....	33
1.1.2.1.2 Plano de usuario.....	33
1.1.2.2 Control de llamadas en Frame Relay.....	33
1.1.2.2.1 Alternativas del control de llamadas.....	33
1.1.2.2.2 Conexión Frame Relay .....	34
1.1.2.2.3 Conexión de acceso.....	35
1.1.2.3 Transferencia de datos de usuario.....	35
1.1.2.4 Funciones de Red.....	36
1.1.2.5 Control de Congestión.....	37
1.1.2.5.1 Aproximaciones del control de congestión Frame Relay .....	38
1.1.2.5.2 Gestión de tasa de tráfico.....	39
1.1.2.5.3 Recuperación de congestión con señalización explícita .....	40
1.1.2.5.4 Recuperación de congestión con señalización implícita .....	41
1.1.3 ATM .....	41
1.1.3.1 Arquitectura del protocolo.....	41
1.1.3.2 Conexiones lógicas ATM.....	42

1.1.3.3	Uso De Canales Virtuales.....	43
1.1.3.4	Características Camino Virtual/Canal Virtual.....	44
1.1.3.5	Señalización De Control.....	44
1.1.3.6	Celdas ATM.....	45
1.1.3.6.1	Formato de cabecera.....	45
1.1.3.6.2	Control De Errores De Cabecera.....	46
1.1.3.7	Transmisión De Celdas ATM.....	47
1.1.3.7.1	Capa física basada en celdas.....	47
1.1.3.7.2	Capa física basada en SDH.....	48
1.1.3.8	Funciones de la capa de ATM.....	49
1.1.3.9	Capa AAL.....	49
1.1.3.9.1	Capa AAL1.....	50
1.1.3.9.2	Capa AAL2.....	50
1.1.3.9.3	Capa ALL3 / 4.....	51
1.1.3.9.4	Capa AAL5.....	51
1.1.3.10	Control de tráfico y de congestión.....	52
1.1.3.11	Requisitos para el control de tráfico y de congestión en ATM.....	52
1.1.3.12	Variación del retardo de celdas.....	53
1.1.3.13	Variación del retardo de celda en el UNI.....	53
1.1.3.14	Control de tráfico y de congestión.....	53
1.1.3.15	Control de tráfico.....	54
1.1.3.16	Gestión de recursos de red.....	54
1.1.3.17	Control de admisión de conexión.....	55
1.1.3.18	Control de parámetros de uso.....	55
1.1.3.19	Contrato de prioridad.....	55
1.1.3.20	Gestión de recursos rápidos.....	56
1.1.3.21	Control de congestión.....	56
1.2	Modos de Transporte.....	56
1.2.1	Las redes PDH.....	56
1.2.1.1	Principio de operación de PDH.....	57
1.2.1.2	Estándares PDH.....	58
1.2.1.3	Limitaciones de PDH.....	58
1.2.1.4	Flexibilidad.....	56
1.2.2	Las redes SDH.....	56
1.2.2.1	Las tramas de SDH.....	57
1.2.2.2	Estructura básica.....	57
1.2.2.3	Composición de tramas: jerarquía compatibilidad y flexibilidad.....	58
1.2.2.4	Equipos de SDH.....	62
1.2.2.4.1	El multiplexor.....	62



1.2.2.4.2	Los cross.connect.....	63
1.2.2.5	Topologías de anillo.....	63
1.2.2.6	Ventajas de la topología en anillo.....	65
1.2.2.7	Mecanismos de protección.....	65
1.2.2.7.1	Protección de sección de multiplexión ...	66
1.2.2.7.2	Protección de trayecto.....	67
1.2.3	DWDM.....	67
1.2.3.1	Emisores.....	68
1.2.3.1.1	Características de los emisores.....	69
1.2.3.2	Multiplexores.....	70
1.2.3.3	Repetidores: Amplificación.....	71
1.2.3.3.1	Tipos de Amplificadores.....	72
1.2.3.4	Interconexión.....	73
1.2.3.5	Convertidores de Longitud de Onda.....	77
1.2.3.6	Recepción: Demultiplexores.....	77
1.2.3.7	Redes DWDM.....	77
1.2.3.8	Aplicaciones de DWDM.....	78
1.2.3.9	Ventajas e inconvenientes de DWDM.....	78

## Capítulo 2

<b>Fibras Ópticas.....</b>	<b>80</b>
2.1 Conceptos de Fibras Ópticas.....	80
2.1.1 Principios Físicos y Químicos .....	80
2.1.1.1 El espectro Electromagnético.....	80
2.1.1.2 Conceptos básicos de las ondas .....	80
2.1.1.3 Reflexión.....	82
2.1.1.4 Refracción.....	83
2.1.1.5 Reflexión total.....	85
2.1.1.6 Apertura numérica.....	86
2.1.1.7 Propagación de la luz en el conductor de fibra óptica.....	87
2.1.1.8 Principios Químicos del conductor de fibra óptica..	88
2.1.2 Perfiles de los conductores de fibra óptica.....	90
2.1.2.1 Perfil escalonado.....	93
2.1.2.2 Perfil gradual.....	96
2.1.2.3 Perfil múltiple.....	99
2.1.3 Parámetros.....	100
2.1.3.1 Atenuación.....	100
2.1.3.2 Ancho de Banda.....	101
2.1.3.3 Dispersión cromática.....	102
2.1.3.4 Diámetro del campo.....	104

2.1.3.5 Campo Cercano.....	104
2.1.3.6 Campo lejano.....	104
2.1.3.7 Resistencia Mecánica.....	105
2.1.4 Fabricación del Cable de fibra óptica .....	105
2.1.4.1 Método Por fusión de vidrio.....	105
2.1.4.2 Estirado de la fibra.....	106
2.1.5 Configuración del cable de fibra óptica.....	107
2.1.5.1 Cubierta.....	109
2.1.5.2 Constitución de la fibra óptica.....	112
2.1.6 Ventanas Ópticas.....	114
2.1.7 Modos de Propagación.....	115
2.1.7.1 Fibra monomodo de índice escalonado.....	115
2.1.7.2 Fibra multimodo de índice escalonado.....	116
2.1.7.3 Fibra de índice graduado.....	116
2.1.8 Tipos de Empalmes.....	117
2.1.8.1 Empalme mecánico simple.....	117
2.1.8.2 Empalme térmico simple.....	118
2.1.8.3 Empalme térmico simple de conductores de fibra óptica monomodo.....	119
2.2 Conversión ElectroÓptica de Señales.....	120
2.2.1 Elementos Emisores.....	120
2.2.1.1 Diodos led.....	121
2.2.1.2 Diodos Láser.....	122
2.2.2 Elementos Receptores.....	123
2.2.2.1 Fotodiodo Pin.....	126
2.2.2.2 Fotodiodo avalancha.....	126
2.2.3 Repetidores y Amplificadores .....	128
2.3 Tipos de Fibra Óptica.....	130

### Capítulo 3

#### Análisis económico y elección de la ruta de la red de Banda Ancha.....

3.1 Criterios para seleccionar los mercados a cubrir por la red de banda ancha.....	133
3.1.1 Criterios de Mercado .....	133
3.1.2 Criterios Técnicos.....	134
3.1.3 Definición de los mercados a servir.....	135
3.2 Ruta del cable de fibra óptica.....	138
3.2.1 Características de una Carretera.....	138
3.2.2 Clasificación de carreteras.....	139

3.2.3 Descripción de las características de la ruta de la red de banda ancha.....	143
3.2.4 Requerimientos para la implementación del cable de fibra óptica sobre las carreteras del Ecuador.....	181

## Capítulo 4

<b>Características de la red de Banda Ancha .....</b>	<b>184</b>
4.1 Arquitectura de protocolos.....	184
4.2 Criterios técnicos para el dimensionamiento de una red.....	185
4.2.1 Determinación de la topología de la red.....	185
4.2.2 Determinación de los anillos SDH.....	185
4.2.3 Escoger la trama y velocidad de los anillos.....	185
4.2.4 Protección.....	186
4.2.5 Selección de los Equipos a instalarse en cada nodo y la configuración del anillo.....	187
4.3 Cálculo de capacidad.....	187
4.3.1 Consideraciones previas.....	187
4.3.2 Anillo Norte.....	191
4.3.3 Anillo Sur.....	192
4.3.4 Anillo Oeste.....	192
4.3.5 Anillo Central.....	193
4.4 Características técnicas.....	195
4.5 Ubicación geográfica de los nodos en cada una de las ciudades...197	

## Capítulo 5

<b>Análisis de Costos .....</b>	<b>198</b>
5.1 Comparación y Elección de Empresas proveedoras de equipos....	198
5.1.1 Alcatel y Siemens.....	198
5.1.1.1 MainStreetXpress 36190.....	198
5.1.1.2 MainStreetXpress 36170.....	200
5.1.1.3 MainStreetXpress 46020.....	201
5.1.1.4 MainStreetXpress 48020.....	202
5.1.2 Lucent.....	202
5.1.2.1 WaveStar trade ADM 4/1.....	202
5.1.2.2 CBX 500 Multiservice WAN Switch.....	204
5.1.2.3 GX 550 Multiservice WAN Switch.....	204
5.1.2.4 WaveStar™ BandWidth Manager.....	205
5.1.3 Equipos a utilizarse.....	206
5.2 Costos totales.....	219

**Capítulo 6****Estudio de los aspectos legales para la implementación de la red de Banda Ancha.....222**

6.1 Ley Especial de telecomunicaciones.....	222
6.1.1 Tasas y tarifas.....	223
6.1.2 Sanciones.....	223
6.1.3 Concesiones y exclusividad.....	224
6.2 Reglamento general a la ley especial de telecomunicaciones y a la ley reformativa a la ley especial de telecomunicaciones.....	224
6.2.1 Concesiones, permisos y autorizaciones.....	224
6.2.2 Concesiones en telecomunicaciones.....	225
6.2.3 Tarifas.....	225
6.3 Reglamento para la prestación de Servicios Portadores.....	226
6.3.1 Concesiones.....	226
6.3.2 Tramitación de solicitud de concesión.....	227
6.3.3 Derechos de concesión y tarifas.....	228
6.4 Cambios a la Ley de Telecomunicaciones.....	228
6.4.1 Reformas y derogatorias contempladas en la nueva ley.....	229

**Capítulo 7****Comparación técnico / económica con otras formas de transmisión .....231**

7.1 Enlaces Satelitales.....	231
7.1.1 El transmisor.....	231
7.1.2 El receptor.....	232
7.1.3 El amplificador de bajo ruido.....	232
7.1.4 La Antena.....	233
7.1.5 Estaciones terrenas.....	234
7.1.6 Manejo de la información.....	235
7.1.6.1 Acceso múltiple por división de frecuencia.....	235
7.1.6.2 Acceso múltiple por división de tiempo.....	235
7.1.7 Comparación de con enlace de fibra óptica.....	237
7.2 Enlaces de Microondas.....	237
7.2.1 Estructura general de un radioenlace por microondas.....	237
7.2.2 Equipos.....	238
7.2.3 Diseño de enlaces terrestres por microondas.....	238
7.2.4 Confiabilidad de sistemas de transmisión por microondas.....	240
7.2.5 Ventajas y desventajas de los enlaces de microondas comparados con los sistemas de fibra óptica.....	240
7.3 Radioenlaces.....	240
7.3.1 Introducción.....	241

7.3.2 Espectro de radiofrecuencias.....	241
7.3.3 Naturaleza de las ondas de radio.....	242
7.3.4 Propagación de las ondas de radio.....	242
7.3.5 Propagación por onda terrestre.....	243
7.3.6 Propagación en línea recta o alcance visual.....	243
7.3.7 Distancia al horizonte.....	243
7.3.8 Distancia de alcance visual.....	244
7.3.9 Propagación por onda espacial.....	244
7.3.10 Comparación con transmisión por fibra óptica.....	245
7.4 Comparación Económica.....	245
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>246</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>248</b>
<b>Apéndice A.....</b>	<b>249</b>
<b>Apéndice B .....</b>	<b>271</b>
<b>Apéndice C.....</b>	<b>284</b>

## Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1.1 Datos de usuario e información de control del protocolo X.25.....	24
Figura 1.2 Formato del paquete X.25.....	26
Figura 1.3 Asignación de números de circuito virtual.....	28
Figura 1.4 Secuencias de paquetes X.25.....	30
Figura 1.5 Diferencias entre X.25 y Frame Relay.....	31
Figura 1.6 Estructura OSI de la red Frame Relay.....	32
Figura 1.7 Arquitectura de protocolo de Interfaz usuario-red.....	32
Figura 1.8 Formato de trama de Frame Relay.....	36
Figura 1.9 Campos de la trama de Frame Relay.....	36
Figura 1.10 Efectos de la congestión.....	37
Figura 1.11 Modelo de referencia del protocolo ATM.....	42
Figura 1.12 Relaciones entre conexiones ATM.....	44
Figura 1.13 Formato de celda ATM.....	46
Figura 1.14 Diagrama de estados del procedimiento de delimitación de celdas.....	47
Figura 1.15 Carga útil STM-1 para transmisión de celdas ATM basada en SDH.....	48
Figura 1.16 Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH).....	57
Figura 1.17 Arquitectura de una red SDH.....	60
Figura 1.18 Trama SDH.....	61
Figura 1.19 Configuración del multiplexor Punto a punto.....	62
Figura 1.20 Configuración Multiplexor ADM.....	62
Figura 1.21 Configuración del multiplexor en Topología Anillo.....	63
Figura 1.22 Operación Cross- Connect .....	64
Figura 1.23 Topologías de anillo.....	65
Figura 1.24 Red de acceso con topología en anillo.....	66
Figura 1.25 Protección de sección de Multiplexión.....	66
Figura 1.26 Protección de trayecto.....	67
Figura 1.27 Transporte DWDM.....	68
Figura 1.28 Rango de longitudes de onda de DWDM.....	69
Figura 1.29 Láser DBR.....	70
Figura 1.30 Rango de altas Ganancias para amplificadores EDFA.....	72
Figura 1.31 Router Pasivo.....	73
Figura 1.32 Switch de división de espacio.....	74

Figura 1.33 Switch de división de espacio con conectores en cruz.....	75
Figura 1.34 Multiplexor Add-Drop.....	75
Figura 1.35 Circuladores con FDB.....	76
Figura 2.1 Reflexión de la luz.....	82
Figura 2.2 Refracción de la luz.....	83
Figura 2.3 Reflexión total de la luz.....	85
Figura 2.4 Conducción de la luz en un conductor de fibra óptica.....	86
Figura 2.6 Perfiles de índices de refracción de un conductor de fibra óptica.....	91
Figura 2.7 Conductor de fibra óptica con perfil escalonado.....	93
Figura 2.8 Conductor de fibra óptica monomodo.....	95
Figura 2.9 Distribución radial del campo del modo fundamental LP01.....	95
Figura 2.10 Distribución radial del campo de los modos LP11 y LP02.....	96
Figura 2.11 Conductor de fibra óptica con perfil gradual.....	97
Figura 2.12 Diagrama del espacio de las fases de un conductor de fibra óptica con perfil gradual.....	98
Figura 2.13 Diagrama en el espacio de las fases de un conductor de fibra óptica con perfil escalonado.....	98
Figura 2.14 Curva de atenuación de Rayleigh.....	100
Figura 2.15 Función de transferencia de un conductor de fibra óptica.....	102
Figura 2.16 Distribución de la energía del modo fundamental a dos longitudes de onda diferentes.....	103
Figura 2.17 Fibras con protección secundaria ajustada.....	113
Figura 2.18 Fibras con protección secundaria holgada.....	114
Figura 2.19 Índice escalonado fibra monomodo.....	116
Figura 2.20 Índice escalonado fibra multimodo.....	116
Figura 2.21 Método de empalme mecánico simple.....	117
Figura 2.22 Método de ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal.....	119
Figura 2.23 Método de ajuste en tres ejes.....	120
Figura 2.24 Fotodiodo LED de unión simple.....	121
Figura 2.25 Fotodiodo LED de estructura múltiple.....	122
Figura 2.26 Relación entre la potencia óptica de salida y la corriente para un láser y un LED.....	123
Figura 2.27 Fotodiodo PIN.....	126
Figura 2.28 Corte esquemático de un diodo Avalancha de Silicio.....	127
Figura 2.29 Sensibilidad de un fotodiodo PIN comparado con uno de avalancha (PD).....	127

Figura 2.30 Corte esquemático de un fotodiodo de Avalancha de InGaAs/InP .....	128
Figura 2.31 Constitución del cable aéreo.....	130
Figura 2.32 Constitución del cable subterráneo.....	131
Figura 3.1 Ciudades no consideradas como mercados.....	137
Figura 3.2 Partes de una carretera.....	138
Figura 4.1 Protección.....	186
Figura 4.2 Tráfico entre nodos.....	188
Figura 4.3 Anillo Norte.....	191
Figura 4.4 Anillo Sur.....	192
Figura 4.5 Anillo Oeste.....	193
Figura 4.6 Anillo Central.....	194
Figura 4.7 Representación global anillos red de banda ancha.....	195
Figura 5.1 MainStreetXpress 36190.....	198
Figura 5.2 Familia de equipos Newbridge.....	199
Figura 5.3 MainStreetXpress 36170.....	200
Figura 5.4 MainStreetXpress 46020.....	201
Figura 5.5 MainStreetXpress 48020.....	202
Figura 5.6 WaveStar trade ADM 4/1.....	203
Figura 5.7 CBX 500 Multiservice WAN Switch.....	204
Figura 5.8 GX 550 Multiservice WAN Switch.....	205
Figura 5.9 WaveStar™ BandWidth Manager.....	205
Figura 5.10 Proveedor de servicios usando el MainStreetXpress 48020 MNSC para administrar un número de sistemas de red.....	215
Figura 5.11 Cable de fibra óptica .....	217
Figura 7.1 Patrón de radiación de la antena parabólica de dos estaciones terrestres, una pequeña y una grande.....	233
Figura 7.2 Concepto básico de las comunicaciones por satélite MDT.....	36
Figura 7.3 Línea de vista de un enlace de microondas.....	239
Figura 7.4 Radiocomunicación.....	241
Figura 7.5 Propagación de las ondas de radio.....	243
Figura 7.6 Distancia al horizonte.....	244
Figura 7.7 Curvamiento de ondas de Radio.....	244



## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1.1 Tipos de paquetes X.25 y parámetros.....	27
Tabla 1.2 Técnicas de control de congestión en retransmisión de tramas.....	39
Tabla 1.3 Clasificación de servicios para AAL.....	50
Tabla 1.4 Velocidades PDH.....	58
Tabla 1.5 Jerarquía de Velocidades SDH.....	61
Tabla 3.1 Clasificación de carreteras por TPDA.....	139
Tabla 3.2 Clasificación de carreteras por velocidad.....	140
Tabla 3.3 Sección Transversal de las carreteras.....	140
Tabla 3.4 Características de espaldones y gradiente.....	140
Tabla 3.5 Clasificación de taludes.....	141
Tabla 3.6 Clasificación de superficie de rodadura.....	141
Tabla 3.7 Diseño de pavimento.....	142
Tabla 4.1 Velocidades de la Jerarquía SDH.....	186
Tabla 5.1 Especificaciones técnicas del cable de fibra óptica .....	218
Tabla 7.1 Relación de bandas y designación de las mismas.....	242

## Capítulo I

### ARQUITECTURAS DE TRANSMISIÓN Y TRANSPORTE DE DATOS

En este capítulo, vamos a realizar un estudio de las arquitecturas de las redes de telecomunicaciones actuales. Empezaremos resaltando que las redes de telecomunicaciones actuales están caracterizadas por la especialización. Esto quiere decir que para cada servicio individual de telecomunicación, existe al menos una red para transportar este servicio. A continuación describimos algunos ejemplos de redes públicas existentes:

- La red de Telex transporta sólo información de Telex, esto es, mensajes de caracteres a muy baja velocidad (300 bps). Los caracteres son codificados en un código específico de 5 bits, el código de Baudot.
- El servicio Telefónico Convencional (POTS Plain Old Telephone Service) es transportado vía la red conmutada de telefonía pública (PSTN). Esta red, ofrece a los clientes los servicios típicos de voz.
- Los servicios de datos son transportados también en la red pública ya sea por medio de la Red de Datos de Conmutación de Paquetes ( Packet Switched Data Network) basada en protocolos X.25 , o como se realiza en un número muy limitado de países, por medio de una Red de Datos de Conmutación de Circuitos (Circuit Switched Data Network) basada en el protocolo X.21.
- Las señales de Televisión pueden ser transportadas en tres formas: Radiodifusión ( Broadcast ) vía ondas de radio usando una antena terrestre, por la red de distribución de cable coaxial (CATV o Cable-TV) o como se ha hecho últimamente, vía Satélite, usando el llamado Sistema de Difusión Directa (Direct Broadcast System).
- En el dominio Privado, los servicios de datos son transportados principalmente por una red de área local (LAN). Las más famosas son Ethernet, token bus y token ring (Series IEEE 802).

Sólo en casos limitados y especiales pueden algunos tipos de red dar servicio a otros diferentes de los que originalmente fueron diseñados. Este es el caso de la red telefónica conmutada, que puede llevar servicios de datos a una velocidad moderada si se instalan modems en los dos extremos a comunicar.

Una consecuencia importante de esta especialización de las redes es la frecuente existencia de un número muy grande de redes independientes a nivel mundial, cada una requiriendo sus fases de diseño, operación y mantenimiento. Adicionalmente, el dimensionamiento de cada red debe hacerse para cada tipo de servicio individualmente. Aunque los recursos estén disponibles libremente en una red, estos no pueden ser usados por un tipo de servicio diferente. Puesto que cada una de estas redes cuenta con una infraestructura por separado es imposible compartir los recursos y de esta manera balancear y aprovechar mejor su capacidad ya que cada

una de estas redes se debe dimensionar en función de la máxima carga a utilizar aunque tenga tiempos con carga muy baja .

Un primer paso, hacia una sola red universal, es la introducción de la NISDN (RDSI-BE Red Digital de Servicios Integrados de Banda Estrecha) sobre la cual la voz y datos son transportados sobre un sólo medio. Esta red no puede transmitir señales de TV debido a sus capacidades limitadas de ancho de banda, por lo tanto, aún se requiere de una red especial para TV. Aún en RDSI-BE la integración de servicios de banda estrecha tales como la voz y los datos puede considerarse como algo ciertamente limitado a pesar de que el acceso del usuario a la red está totalmente integrado tanto en la interfase de acceso por régimen básico como en la de régimen primario. Sin embargo, dentro de la misma red, existirá todavía por un buen tiempo una subred de conmutación de paquetes y una de conmutación de circuitos como dos redes sobrepuestas incapaces de transportar otros tipos de tráfico y cada una dimensionada ya sea para voz o para datos X.25.

Con la definición de la arquitectura de la futura BISDN ( RDSI de Banda Ancha ), se han tenido en cuenta todos los servicios posibles, tanto presentes como futuros.

Como ejemplos típicos de servicios contemplado, denominados genéricamente como servicios "**Multimedia**" o de "**Banda Ancha**", figuran:

- Servicios de Comunicación Interactiva
  - Videoconferencia
  - Multi-videoconferencia
  - Servicios de Trabajo Cooperativo (CSCW- Computer Supported Cooperative Work).
- Servicios de Recuperación de Información.
  - Acceso a Bases de Datos Multimedia (incluidos los servicios en formato hipertexto como, actualmente los correspondientes al WWW).
  - Video Distribución (Video Retrieval) y Video bajo demanda ( Video on Demand).
  - Mensajería Multimedia.
- Servicios de Distribución
  - Servicios de Distribución de TV de Alta Calidad
- Servicios de Transmisión de Datos de Alta Velocidad.
  - Servicios de Interconexión de Redes de Area Local.

En definitiva las redes de hoy son muy especializadas y sufren de un gran número de desventajas, siendo las más importantes:

- Dependencia del Servicio
- Inflexibilidad
- Ineficiencia.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones en flexibilidad, dependencia del servicio y utilización de los recursos, es muy importante que sólo exista una red y que esta red del futuro sea independiente del servicio que preste.

### **1.1. - Modos de transferencia**

En el mundo futuro de las telecomunicaciones, los nuevos servicios como son la video-conferencia, video-distribución, acceso a bases de datos multimedia, tele-trabajo, la transmisión de datos de alta velocidad, etc. serán adicionados a los servicios actuales tales como voz, la TV y la transmisión de datos a baja velocidad. La llegada de estos nuevos servicios de telecomunicación, genera nuevos requerimientos para la red de comunicación. Podría requerirse de nuevas técnicas de conmutación (Modos de Transferencia) al mismo tiempo que podrán ofrecer ventajas sobre las técnicas existentes.

El uso de un Modo de Transferencia específico en una época determinada, está controlado por la tecnología disponible en ese momento. El modo de transferencia seleccionado ha cambiado muchas veces a lo largo de la "historia".

Paralelamente a la aparición de nuevos servicios (y sus requerimientos) que surgen y la tecnología disponible, se ha definido un nuevo Modo de Transferencia para la RDSI de Banda Ancha. Procuraremos, describir los principales Modos de Transferencia considerados para las redes de Banda Ancha con sus respectivas ventajas y desventajas. Sin embargo, haremos especial énfasis en un Modo de Transferencia llamado ATM ( ATM Asynchronous Transfer Mode ), puesto que esta técnica ha sido seleccionada en 1987 por el CCITT para ser el Modo de Transferencia de la futura RDSI-BA. En 1990, CCITT emitió la primera serie de recomendaciones, especificando los detalles del MTA para ser usados en RDSI-BA. Estas recomendaciones fueron ampliadas en 1991 y 1992.

Adicionalmente , los fabricantes de equipo de usuario han evolucionado incrementando constantemente las prestaciones en las estaciones de trabajo en términos de capacidad de procesamiento. Por otra parte, el surgimiento de estaciones multimedia que pueden conectarse directamente a la red, y la introducción de "unidades de interfuncionamiento" ( routers y gateways) que interoperen entre los entornos de usuarios (terminales y redes locales) y la infraestructura de red pública dotada de los nuevos accesos de la RDSI-BA, ha hecho necesaria la disponibilidad de un conjunto de recomendaciones y especificaciones para que los fabricantes de equipos de usuario puedan asegurar la compatibilidad de sus equipos con la red.

En este ambiente, el ATM Forum ha reconocido las capacidades de ATM y ha definido las especificaciones necesarias para la interoperabilidad.

## Desarrollo histórico de los modos de transferencia

Es interesante mirar en los últimos años de historia para descubrir las razones básicas por las cuales algunos Modos de Transferencia han sido muy exitosos en el pasado y algunos otros nunca lo fueron.

**Telegrafía:** El primer "Modo de Transferencia" usado en el mundo de las Telecomunicaciones fue una especie de "Conmutación de Paquetes". De esta manera en Telegrafía un "paquete" ( el mensaje, en este caso) era transmitido de estación en estación por relevo. Este paquete también contenía la dirección del origen y del destino además del contenido del mensaje. Este tipo de técnica de "conmutación de paquetes" estaba sujeto a las limitaciones tecnológicas de ese periodo, que se reducían al uso de algunos cables y la llave generadora de pulsos. Básicamente, se hacía uso de la inteligencia de cada operador humano para decidir que se hacía con cada mensaje individual. Es interesante el hacer notar que el modo en que cada mensaje es codificado es más o menos digital, puesto que sólo era posible el uso de valores discretos ( pulsos cortos y largos).

**Telefonía:** El siguiente Modo de Transferencia, introducido a finales del siglo pasado fue la "Conmutación de Circuitos", para ser usado por los operadores de Telefonía Pública, es decir el servicio de telefonía clásica. En esta aplicación el circuito es establecido por la duración completa de la conversación.

Dos razones poderosas han forzado la introducción de este Modo de Transferencia.

- El uso de una estación de relevo como en las aplicaciones de telegrafía ( como si fuera un operador repitiendo toda la conversación) es poco práctico puesto que no solo inhibe el contacto directo entre dos interlocutores sino que reduce la exactitud del mensaje recibido en el destino.
- La existencia del terminal telefónico no requirió más de la codificación de la señal en digital puesto que esta podía ser transmitida en forma analógica. El único requisito, era que en algún lugar de la red, uno o más "switches" se cerraran para que de esta manera se estableciera un circuito punto a punto y permitiera que la señal viaje del origen al destino.

En una etapa inicial, el cierre de este circuito era realizado manualmente por un operador. Con la llegada de los switches automáticos, el cierre o apertura de este switch era controlado mecánicamente. Posteriormente la apertura y cierre de este switch fue electromecánica y finalmente electrónica. Pero a pesar de los avances tecnológicos en el manejo de estos switches, no varió el modo de transferencia de conmutación usado por el servicio de telefonía pública, es decir la conmutación de circuitos. No había ninguna razón suficiente para cambiar el modo de transferencia de una red que sólo transmite voz, puesto que los únicos requerimientos del servicio telefónico es mantener cerrado un circuito (conexión) durante todo el tiempo que dura la conversación.

Para algunas aplicaciones específicas, por ejemplo, conexiones de larga distancia en que el circuito es muy caro (como en los satélites), la conmutación de circuitos no

será lo más eficiente. Puesto que algunas conversaciones tienen periodos de 50% de silencio entonces esta eficiencia puede ser incrementada quitando los periodos de silencio de la conversación. Los periodos de silencio de una conversación pueden ser rellenados con periodos activos de otra conversación. Esta técnica específica es llamada TASI (Time Assignment by Speech Interpolation). Esta técnica no es eficiente para conexiones a distancias cortas y medias en el caso de servicios de telefonía convencional, puesto que la ganancia de cerca del 50% del costo de transmisión obtenida por la supresión de silencio no compensaría el costo adicional en terminales y sistemas de conmutación de alta complejidad que se requiere instalar.

**Datos:** Cuando los requerimientos de interconexión de computadoras y terminales aparecieron como una aplicación para las redes de telecomunicación, se utilizó originalmente la red telefónica de conmutación de circuitos existente. Se requería de modems para convertir la señal digital de la computadora a señal analógica de la línea telefónica. Ahora, un gran porcentaje de las conexiones entre terminales y computadora siguen utilizando la red telefónica.

El hecho de utilizar la línea telefónica es obvio, pues se trata de aprovechar una red ya existente. Sin embargo, puesto que las aplicaciones de datos son típicamente a ráfagas (varias veces más silencio que el 50% existente en conversaciones telefónicas), la conmutación de circuitos no es la solución ideal.

Desde los sesenta la gente empezó a darse cuenta de que existían mejores soluciones especialmente adaptadas para las aplicaciones de datos, con su carácter de ráfagas. Inicialmente se consideraron como candidatos dos técnicas de transferencia: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Las dos propuestas fueron trabajadas y estandarizadas por el CCITT (La norma X.21 para conmutación de circuitos y la X.25 para conmutación de paquetes). La naturaleza impulsiva o de ráfagas de las fuentes de datos promovió el éxito de la conmutación de paquetes la cual está disponible ahora en más países. Esto significa, que en una red de conmutación de paquetes los recursos se utilizan solo cuando *realmente* se transfiere información (durante el burst), mientras que en una red de conmutación de circuitos los recursos se están ocupando durante la conexión completa (incluyendo también los periodos de "silencio").

## Requerimientos de Funcionamiento

En las futuras red de banda ancha, tienen que soportarse un número muy grande de servicios. Entre estos, hay servicios de **baja velocidad**, como telemetría, telecontrol, telealarmas, voz, fax, datos a baja velocidad,... de **mediana velocidad**, como sonido hifi, video telefonía, datos a velocidad alta,... y los de **muy alta velocidad** como la distribución de video de alta calidad, video bajo demanda, etc. Por lo tanto, el modo de transferencia para esta futura red no puede ser diseñado específicamente en función de un determinado servicio.

Es preferible la instalación de una sola red que sea capaz de transferir todo tipo de servicios, que la instalación de una red por cada tipo de servicio, y esto se debe a

que será muy costoso el desarrollo, instalación y mantenimiento de redes superpuestas para cada servicio.

Adicionalmente se tendrían que proporcionar servicios de interfuncionamiento entre las diversas redes, lo que hace que la solución de usar redes especializadas es aún más problemático. Por lo tanto, se debe definir una sola **Red Universal de Banda Ancha**, capaz de satisfacer todos los requerimientos de servicios existentes y aún los que se espere que aparezcan en un futuro próximo.

Para poder definir el modo de transferencia que se deberá utilizar, es muy importante el entender las características de los servicios existentes y los requerimientos del modo de transferencia que resulten más óptimos. Para anticipar un servicio futuro desconocido debemos tratar de caracterizar un servicio tan general como sea posible.

Vamos a analizar entonces cada uno de los modos de transmisión que se utilizan actualmente para la transmisión de datos.

### 1.1.1 X.25

Ahora realizaremos un estudio de las principales características de X.25 que es uno de los primeros protocolos que se utilizaron para la transferencia de datos. X.25 es el protocolo estándar más conocido y más ampliamente usado, fue aprobado originalmente en 1976 y modificado posteriormente.

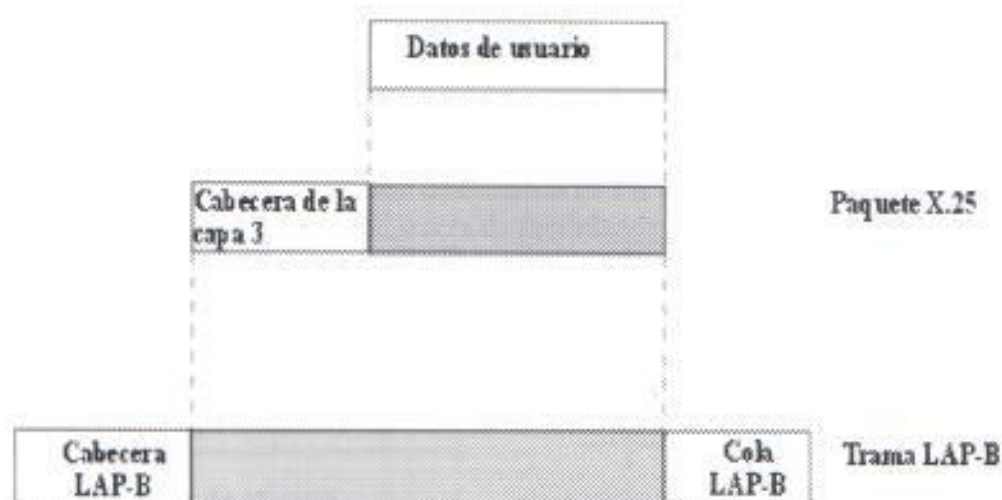
El estándar especifica la interfaz entre una estación y una red de conmutación de paquetes. Las capas de funcionalidad de X.25 son:

- Capa física.
- Capa de enlace.
- Capa de paquetes.

**Capa física** trata la interfaz física entre una estación (computador o terminal) y el enlace que la conecta con el nodo de conmutación de paquetes. En este estándar se hace referencia a la máquina de usuario como DTE (Data Terminal Equipment) y el nodo de conmutación de paquetes al que el DTE se encuentran conectado DCE (Data Circuit Equipment).

**Capa de enlace** se encarga de la transmisión fiable de datos mediante la transmisión de estos sobre la base de una secuencia de tramas. La capa de enlace estándar es el protocolo LAPB (Protocolo Equilibrado de Acceso al Enlace). LAPB es un subprotocolo del protocolo HDLC.

**Capa de paquetes** proporciona un servicio basado en circuitos virtuales externos.



**Figura 1.1 .-Datos de usuario e información de control del protocolo X.25**

La figura 1.1 muestra la relación entre los niveles de X.25. Los datos de usuario se pasan a nivel 3 de X.25, y este añade información de cabecera dando lugar a un paquete, el paquete se pasa a la entidad LAPB, quien añade información de control al principio y final del paquete dando lugar a una trama LAPB.

### 1.1.1.1 Servicio de circuito virtual.

X.25 ofrece 2 tipos de servicio virtual: llamada virtual y circuito virtual permanente. Una llamada virtual es un circuito virtual establecido dinámicamente usando una petición de llamada y liberación. Un circuito virtual permanente es un circuito virtual fijo asignado en la red, aquí no son necesarias las llamadas de establecimiento y de cierre.

### 1.1.1.2 Formato de paquete.

La figura 1.2 muestra los formatos básicos de paquetes X.25. Los datos de usuario se segmentan en bloques de tamaño máximo, a cada bloque se le agrega 24 o 32 bits de cabecera para formar el paquete de datos, la cabecera incluye 12 bits para el número del circuito virtual (4 para el número de grupo y 8 bits para el número de canal). Los campos P(S) y P(R) se usan para el control de flujo y errores a través del circuito virtual. El bit Q no se encuentra definido en el estándar, y permite distinguir entre dos tipos de datos.

Además de la transmisión de datos, X.25 debe transmitir información de control relacionada con el establecimiento, mantenimiento y liberación de circuitos virtuales. La información de control se transmite en paquetes de control. Cada paquete de control incluye el número de circuito virtual, el tipo de paquete que identifica la función de control particular, e información de control adicional, relacionada con esta función. Por ejemplo, un paquete petición de llamada incluye los siguientes campos adicionales:



- Longitud de la dirección del DTE llamador (4 bits): es la longitud del campo de dirección correspondiente en unidades de 4 bits
- Longitud de la dirección del DTE llamado (4 bits) : es la longitud del campo de dirección correspondiente en unidades de 4 bits
- Direcciones DTE (variable): direcciones de los DTE llamadores y llamados.
- Campo de facilidades: Secuencia de facilidades

Q	D	0	1	N.o de grupo
N.o de canal				
P(R)		M	P(S) 0	
Datos de usuario				

(A) Paquetes de datos con números de secuencia de 3 bits

0	0	0	1	N.o de grupo
N.o de canal				
Tipo de paquete				1
Información adicional				

(B) Paquete de control para llamadas virtuales con números de secuencia de 3 bits

0	0	0	1	N.o de grupo
No de canal				
P(R)	Tipo de paquete			1

(c) Paquetes RR, RNR y REJ con números de secuencia de 3 bits

Q	D	1	0	N.o de grupo
N.o de canal				
P(S)				0
P(R)				M
Datos de usuario				

(D) Paquete de datos con número de secuencia de 7 bits

0	0	1	0	No de grupo
No de canal				
Tipo de paquete				1
Información adicional				

(E) Paquete de control para llamadas virtuales con números de secuencia de 7 bits

0	0	1	0	N.o de grupo
No de canal				
Tipo de paquete				1
P(R)				0

(F) Paquetes de RR, RNR, y REJ con números de secuencia de 7 bits

Figura 1.2.- Formato del paquete X.25

En la tabla 1.1 se listan todos los paquetes X.25. La mayor parte de ellos han sido presentados ya. Describiremos el resto:

Tipo de paquete		Servicio		Parámetros
Del DTE al DCE	Del DCE al DTE	V C	PV C	
Establecimiento y liberación de llamadas				
Petición de llamada	Llamada entrante	X		Dirección del DTE llamador, dirección del DTE llamado, facilidades, datos de usuario de llamada
Llamada aceptada	Conmutación establecida	X		Dirección del DTE llamador, dirección del DTE llamado, facilidades, datos de usuario de llamada
Petición de llamada	Indicación de llamada	X		Causa de la liberación, código de diagnóstico, dirección del DTE llamador, dirección del DTE llamado, facilidades, datos de usuario de liberación
Confirmación de liberación	Confirmación de liberación	X		Dirección del DTE llamador, dirección del DTE llamado, facilidades
Datos de Interrupciones				
Datos	Datos	X	X	-
Interrupción	Interrupción	X	X	Datos de usuario de interrupción
Confirmación de interrupción	Confirmación de interrupción	X	X	-
Control de Flujo y Reinicio				
RR	RR	X	X	P(R)
RNR	RNR	X	X	P(R)
REJ		X	X	P(R)
Petición de reinicio	Indicación de reinicio	X	X	Causa de reinicio, código de diagnóstico
Confirmación de reinicio	Confirmación de reinicio	X	X	-
Rearranque				
Petición de arranque	Indicación de reanque	X	X	Causa de reanque, código de diagnóstico
Confirmación de reanque	Confirmación de reanque	X	X	-
Diagnostico				
	Diagnostico	X	X	Código de diagnóstico, explicación del diagnóstico
Registro				
Petición de registro		X	X	Dirección del DTE, dirección del DCE, registro
	Registro	X	X	causa, diagnóstico, dirección del DTE, dirección d DE, registro
	Confirmación			

**Tabla 1.1.- Tipos de paquetes X.25 y parámetros**

Un DTE puede enviar un paquete de interrupción que obvia el control de flujo de los paquetes de datos. Un paquete de interrupción se envía a través de la red hacia el DTE destino con mayor prioridad que los paquetes de datos.

Los paquetes de reinicio (reset) permite la recuperación de un error mediante el reinicio de un circuito virtual, lo que significa que los números de secuencia de ambos extremos son puestos a 0. Cualquier dato o paquete de interrupción en tránsito se pierde. Un reinicio puede estar provocado por diversas condiciones de error, entre las que se encuentran pérdidas de paquetes, error en el número de secuencia, congestión o pérdida de la conexión lógica interna de la red. En último caso, ambos DCE deben reconstruir la conexión lógica interna para dar soporte al circuito virtual X.25 aún existente.

Una condición de error más seria se trata mediante el paquete Rearranque (restart), que cancela todas las llamadas virtuales activas. Un ejemplo de una condición de rearranque es una pérdida temporal de acceso a la red.

Los paquetes diagnóstico permiten indicar ciertas condiciones de error que no garantizan el reinicio. Los paquetes Registro se usa para solicitar y confirmar facilidades X.25

### **1.1.1.3 Multiplexación.**

Un DTE puede establecer simultáneamente más de 4095 circuitos virtuales con otros DTE sobre un único enlace físico DTE-DCE. Este enlace DTE-DCE puede proveer multiplexación full-duplex, es decir, un paquete asociado a un circuito virtual dado puede transmitirse en ambas direcciones en cualquier instante de tiempo.

Para reconocer que paquete corresponde a un circuito virtual asignado, cada paquete contiene un número de circuito virtual de 12 bits ( 4 para el número de grupo lógico más 8 bits para el número de canal lógico). La asignación de números de circuito virtual sigue la convención mostrada en la figura 1.3, el número cero es siempre reservado para paquetes de diagnóstico común a todos los circuitos virtuales. Los circuitos virtuales permanentes se asignan a números que comienzan con 1 . La siguiente categoría la constituyen las llamadas entrantes, lo que significa que sólo las llamadas entrantes desde la red puede ser asignadas a estos números . El circuito virtual en cambio, es en las dos direcciones. Cuando se recibe una solicitud de llamada , el DCE selecciona el número libre de esta categoría.

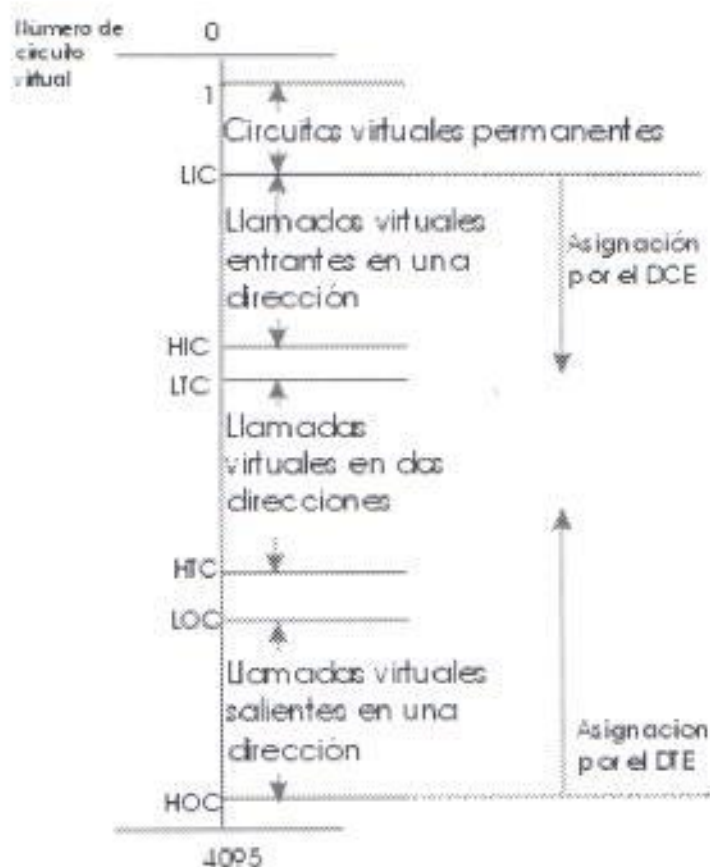


Figura 1.3.- Asignación de números de circuito virtual

Donde:

LIC = Canal entrante inferior superior

HIC = Canal entrante superior

LTC = Canal en dos direcciones inferior

HTC = Canal en dos direcciones superior

LOC = Canal saliente inferior

HOC = Canal saliente superior

Las llamadas salientes son iniciadas por el DTE. En este caso, es el DTE quien selecciona un número libre de entre aquellos reservados para estas llamadas. Esta separación de categorías está pensada para evitar la selección simultánea por parte del DTE y el DCE del mismo número para dos circuitos virtuales diferentes.

La categoría de llamadas virtuales bidireccionales prevé un desbordamiento para reservas compartidas por el DTE y el DCE, para distintos picos de flujo de tráfico.

#### 1.1.1.4. -Control de flujo y errores.

Para el control de flujo y errores en la capa de paquetes, X.25 hace uso del protocolo de ventana deslizante, donde cada paquete incluye un número de secuencia enviado, P(S), y un número de secuencia recibido, P(R). Aunque implícitamente, se emplean 3 bits para los números de secuencia, opcionalmente, un DTE puede solicitar, mediante el mecanismo de facilidades de usuario, el uso de 7

bits. Tal como se mostró en la figura 1.2 , los bits tercero y cuarto de todos los paquetes de datos de control son 01 cuando se usan números de secuencia de 3 bits. En cambio, cuando se emplean 7 bits, estos toman el valor 10.

P(S) es asignado por el DTE para los paquetes salientes, es decir, el campo P(S) de cada nuevo paquete de datos saliente hacia un circuito virtual es uno más que el anterior, módulo 8 ó 128. P(R) contiene el número del siguiente paquete esperado por el otro extremo de un circuito virtual, siendo usado para la confirmación en la técnica de incorporación de confirmaciones. Si un extremo no dispone de datos que enviar, puede confirmar los paquetes recibidos con los paquetes de control Preparado para recibir(RR, "Receive Ready" ) y No Preparado para Recibir (RNR, "Receive Not Ready"), que tienen el mismo significado que en HDLC. El tamaño implícito de ventanas es 2, pudiendo ser superior a 127 para números de secuencia de 7 bits.

La confirmación (en forma del campo P(R) en los datos, o los paquetes RR y RNR), y por tanto el control de flujo, puede ser local o extremo en base del valor del bit D. Cuando D toma el valor 0 (valor usual) la confirmación se realiza entre el DTE y la red, siendo usado por el DCE local y/o la red para confirmar la recepción de paquetes de datos y controlar el flujo desde el DTE hacia la red. Cuando  $D = 1$  las confirmaciones provienen del DTE remoto.

La forma básica para el control de errores es la técnica ARQ go-back-N. Las confirmaciones negativas son paquetes de control de rechazo (REJ, "Reject"). Si un nodo recibe una confirmación negativa, retransmitirá el paquete especificado y todos los siguientes.

### 1.1.1.5. -Secuencia de paquetes.

X.25 provee la capacidad llamada secuencia completa de paquetes, para identificar las secuencias contiguas de paquetes de datos. Un uso importante de esta característica es por la interconexión de protocolos de redes para enviar grandes bloques de datos a una red con restricción de pequeños paquetes de tamaño sin perder la integridad del bloque.

X.25 define dos tipos de paquetes: Paquete A y paquete B. Un paquete A consiste en un bit M igual a uno, un bit D igual a cero y el paquete esta completo ( Con la máxima longitud de paquete permitida ). Un paquete B es todo paquete distinto del paquete A. Una secuencia completa de paquetes consiste en cero o más paquetes A seguidos por un paquete B. La red puede combinar esta secuencia para construir paquetes más grandes ; del mismo modo, un paquete B puede ser dividido en paquetes más pequeños para producir una secuencia completa de paquetes.

La forma en que se gestiona el paquete B depende del valor de los bits M y D . Si  $D = 1$ , el DTE receptor envía una confirmación extremo a extremo hacia el DTE emisor, lo que representaría una confirmación de la secuencia completa de paquetes. Si  $M = 1$  existen secuencias completas de paquetes adicionales, lo que posibilita la creación de subsecuencias como parte de una secuencia más larga. Así,

puede producirse una confirmación extremo a extremo antes de producirse el final de la secuencia más larga.

En la figura 1.4 se muestran algunos ejemplos de estos conceptos. Es responsabilidad de los DCE reorganizar los cambios en la numeración de la secuencia causada por la segmentación y la agrupación o ensamblado.

Secuencia original			Secuencia combinada		
Tipo de Paquete	M	D	Tipo de paquete	M	D
A	1	0			
A	1	0	A	1	0
A	1	0			
A	1	0	A	1	0
A	1	0			
B	0	1	B	0	1
			Secuencia segmentada		
B	0	0	A	1	0
			B	1	0

**Figura 1.4.- Secuencias de paquetes X.25**

En resumen las Principales características de X.25

- Paquetes de control de llamadas, como establecimiento y cierre de llamadas, son transportados por el mismo canal y circuito virtual que los paquetes de datos, de hecho una señalización en banda es usada.
- Multiplexación de circuitos virtuales toma lugar en la capa 3
- Mecanismos de control de flujos y errores son utilizados tanto en la capa 2 como en la 3

Estas características de X.25 resultan considerablemente costosas, ya que esto estaría justificado si se tuviese una alta probabilidad de error en los nodos de la red, lo que no ocurre con las modernas técnicas digitales de comunicación, además que hoy en día se utiliza medios de transmisión como por ejemplo la fibra óptica que tiene un alto grado de fiabilidad. En este caso la técnica de X.25 no se utiliza debido a que degrada la efectiva utilización a alta velocidad para el envío de datos.

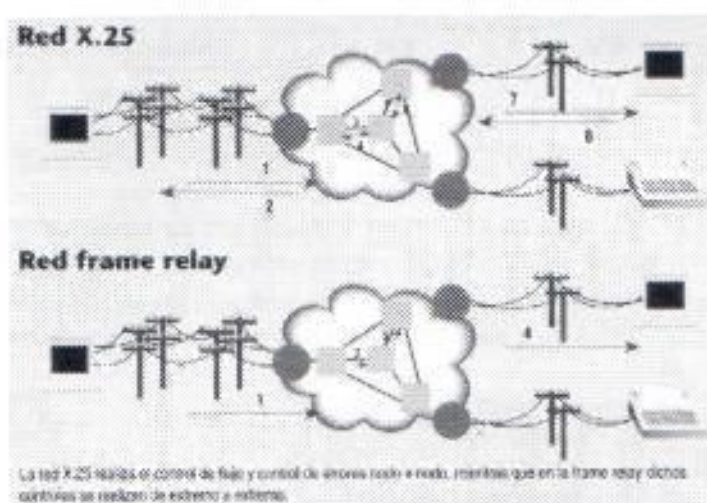
### 1.1.2 Frame Relay

Frame Relay es la más importante técnica de innovación creada por RDSI, Frame Relay tiene una variedad de usos muy amplia en redes públicas y privadas que no dependen de los standard RDSI.

Frame relay está diseñado para eliminar todo el coste que representa X.25 para el sistema y para la red de conmutación de paquetes.

Las principales diferencias entre Frame Relay y el servicio convencional de conmutación de paquetes de X.25 (figura 1.5) son:

- Señalización de llamadas de control son transportadas en conexiones lógicas separadas que los datos de usuario.
- Multiplexación y conmutación de conexiones lógicas tienen lugar en la capa 2 en vez de la capa 3, eliminando así una capa entera de procesamiento.
- No hay un control de flujo ni de errores entre nodos. El control de flujo y errores puede ser implementado por capas superiores de procesamiento



**Figura 1.5.- Diferencias entre X.25 y Frame Relay**

Analizando esto se podría pensar que esto representaría una desventaja en la técnica de Frame relay comparada con X.25 ya que no hay un control de Flujo ni de errores entre nodos.

En X.25 múltiples circuitos virtuales son transportados en un mismo enlace físico y LAPB es el encargado de proveer un nivel de enlace fiable para la transmisión desde la fuente hasta la red de conmutación de paquetes y desde la red de conmutación de paquetes hasta el destino. En suma, en cada salto a través de la red el protocolo de control de enlace puede ser usado para la fiabilidad. Con el uso de Frame relay este control de enlace nodo a nodo se pierde. Sin embargo con el incremento de la fiabilidad de una transmisión y facilidades de conmutación esto no representa una mayor desventaja.

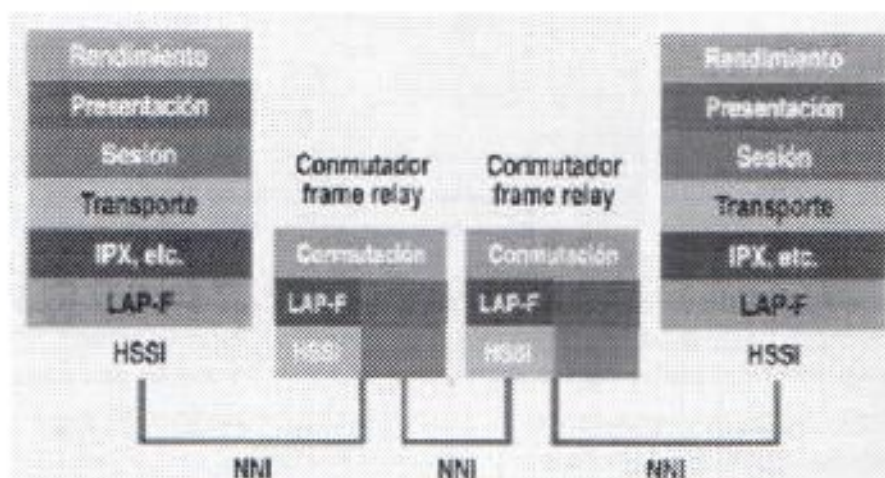


Figura 1.6.-Estructura OSI de la red Frame Relay

La ventaja de Frame Relay es que tenemos un proceso de comunicación efectivo: La funcionalidad del Protocolo en la interfaz usuario red es reducida, así como el procesamiento interno de la red. Como resultado de esto un bajo retardo y un alto rendimiento son esperados. La recomendación I.233 de la ITU-T indica que Frame Relay es usada a velocidades de acceso superiores a 2Mbps.

### 1.1.2.1 Arquitectura de protocolos de Frame Relay

Frame relay considera el uso de dos planos de operación separados: Un plano de control (C) que está involucrado en el establecimiento y cierre de las conexiones lógicas, y un plano de usuario (U) que es el responsable de la transferencia de datos entre suscriptores.

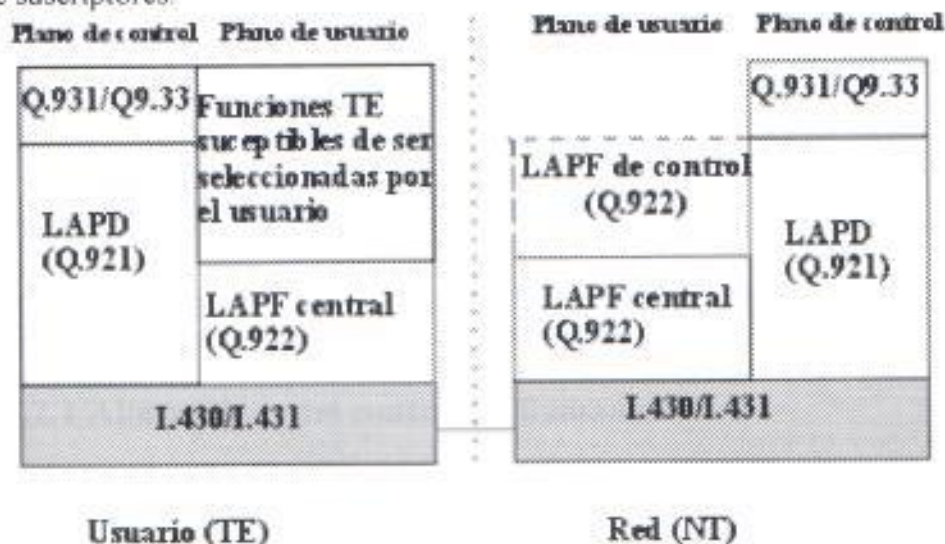


Figura 1.7.- Arquitectura de protocolo de Interfaz usuario-red

Los protocolos del plano de control están entre un suscriptor y la red, y del plano de usuario proveen la funcionalidad extremo a extremo.



### 1.1.2.1.1 Plano de Control

El plano de control para servicios de transferencia en modo trama es similar a la señalización por canal común en servicios de conmutación de circuitos, en que un canal lógico separado es usado para información de control

En la capa de enlace, LAPD es usado para proveer un servicio de control de enlace de datos confiable, con un control de flujo y de errores entre usuario y red sobre el canal D. Este servicio de enlace de datos es usado para el intercambio de mensajes de señalización de control (Q.933).

### 1.1.2.1.2 Plano de usuario

Para la transferencia de información entre usuarios es utilizado el protocolo LAPF. Solo las funciones principales de LAPF son usadas por Frame Relay:

- Delimitación, alineación y transparencia de tramas
- Multiplexación y demultiplexación de tramas usando el campo de dirección
- Inspección de un número correcto de octetos en las tramas antes de la inserción de ceros o después de una extracción.
- Inspección de que las tramas no sean demasiado largas o demasiado cortas.
- Detección de errores de transmisión.
- Funciones de Control de Congestión.

Esta última función es nueva en LAPF, el resto también son funciones de LAPD.

### 1.1.2.2 Control de llamadas en Frame Relay

Pasaremos a examinar varios métodos para establecer una conexión Frame relay y describiremos los protocolos usados para el Control de Conexión.

#### 1.1.2.2.1 Alternativas del control de llamadas

El protocolo para el control de llamadas para Frame Relay puede ser efectuado con un número de alternativas.

Primero consideremos dos casos para la provisión del servicio de gestión de tramas. Para la operación Frame Relay un usuario no está conectado directamente a otro usuario, sino que está conectado a un gestor de tramas en la red así como en X.25 a un gestor de paquetes.

Consideremos 2 casos:

- **Acceso Conmutado.** El usuario está conectado a una red de conmutación, como en RDSI, y el intercambio local no provee capacidad de gestión de tramas. En este caso el acceso conmutado debe ser provisto por el equipo terminal del usuario a el gestor de trama en la red. En este caso puede pedir una demanda de conexión ó una conexión semi permanente en cada caso el servicio Frame Relay es provisto sobre un canal B ó H.
- **Acceso Integrado** el usuario está conectado a una red Frame Relay ó a una red conmutada en la que el intercambio local provee capacidad de gestión de tramas. En este caso se tiene un acceso lógico directo al gesto de tramas

En todas las consideraciones se tiene que realizar una conexión entre el usuario y el gestor de tramas, a este proceso nos referiremos como *Conexión de acceso*, una vez que esta conexión exista, entonces es posible multiplexar muchas conexiones lógicas, conocidas como *Conexión Frame relay*, sobre esta conexión, cada conexión lógica puede ser por demanda o semipermanente.

### 1.1.2.2 Conexión Frame Relay

Asumamos que un suscriptor ha establecido una conexión con un gestor de tramas en alguna parte de una red Frame Relay. Análogo a Red de conmutación de paquetes el usuario está entonces listo para intercambiar tramas de datos con otros usuarios que se encuentre en la red. Para este propósito una conexión Frame relay necesita ser establecida en Frame Relay.

Como en X.25 Frame relay soporta múltiples conexiones lógicas sobre un único enlace. En el caso de Frame relay son llamadas conexiones de enlace de datos, y cada una de esta tiene un único *identificador Conexión de Enlace de Datos* (DLCI). La trasferencia de datos involucra los siguientes pasos.

1. Establecer una conexión lógica entre dos puntos extremos, y asignar un único DLCI a la conexión.
2. Intercambiar información en tramas de datos. Cada trama incluye un campo DLCI que identifique la conexión.
3. Cerrar la conexión lógica

El establecimiento y cierre de una conexión lógica está acompañada por el intercambio de mensajes sobre una conexión lógica dedicada al control de llamadas con DLCI = 0. Una trama con DLCI = 0 contiene un mensaje de control de llamadas en el campo de información. Como minimo cuatro tipos de mensajes son necesitados: SETUP, CONNECT, RELEASE, RELEASE COMPLETE.

Un lado puede requerir el establecimiento de una conexión lógica para el envío de un mensaje SETUP. El otro extremo recibe el mensaje SETUP y tiene que responder con un mensaje CONNECT si acepta la conexión, o si no responder con un mensaje RELEASE COMPLETE.

El lado que envía el mensaje SETUP puede asignar el DLCI escogiendo un valor e incluyéndolo en el mensaje SETUP o si no el valor del DLCI es asignado por el lado aceptante en el mensaje CONNECT.

Si un lado desea limpiar una conexión lógica enviará un mensaje RELEASE. El otro extremo aceptará este mensaje respondiendo con un mensaje RELEASE COMPLETE.

### 1.1.2.3 Conexión de acceso

Ahora consideremos el establecimiento de una conexión de acceso. Si la conexión es semi-permanente, entonces no se requiere de un protocolo de control de llamadas. Si la conexión va a ser establecida por demanda, entonces el usuario requiere una conexión por medio de un protocolo de señalización de canal común entre el usuario y la red.

### 1.1.2.3 Transferencia de datos de usuario

La operación de Frame Relay para la transferencia de datos de usuario, se expone mejor empezando por el formato de una trama. Este formato está definido por el protocolo LAPF de mínima función (conocido como protocolo central). El formato es similar que LAPD y LAPB salvo una omisión: no hay un campo de control. Esto tiene las siguientes implicaciones:

- Solo hay un tipo de trama, usada para transportar datos de usuario. No hay control de tramas.
- No es posible el uso de señalización en banda, una conexión lógica solo puede transportar datos de usuario.
- No es posible realizar un control de flujo y de errores, no hay una secuencia numérica.

Los campos FCS (Frame Check sequence) y Flag funcionan como en LAPB y LAPD. El campo de Información transporta datos de capas superiores. Si el usuario selecciona implementar funciones de control de enlace de datos extremo a extremo adicionales, entonces una trama de enlace de datos puede ser transportada en este campo. Específicamente, una selección común usaría el protocolo LAPF completo (conocido como Protocolo de control LAPF).

### Formatos frame relay

Cabecera obligatoria de 2 bytes



Cabecera obligatoria de 4 bytes

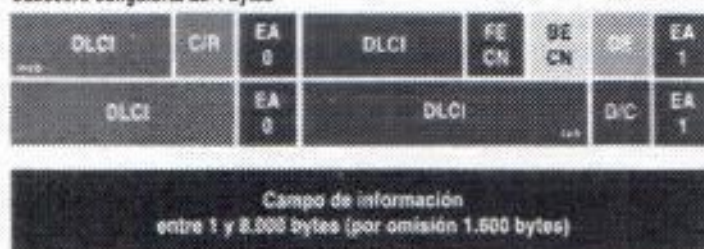


Figura 1.8.- Formato de trama de frame relay

El campo de dirección tiene por defecto una longitud de 2 octetos que puede ser extendida a 3 o 4 octetos. Este transporta el Identificador de Conexión de enlace de Datos DLCI de 10, 17, ó 24 bits. El DLCI tiene la misma función que el número de circuito virtual en X.25: este numera la múltiples conexiones Frame Relay a ser multiplexadas en un mismo canal. Como en X.25 el identificador tiene un significado local, cada extremo de una conexión lógica asigna su propio DLCI.

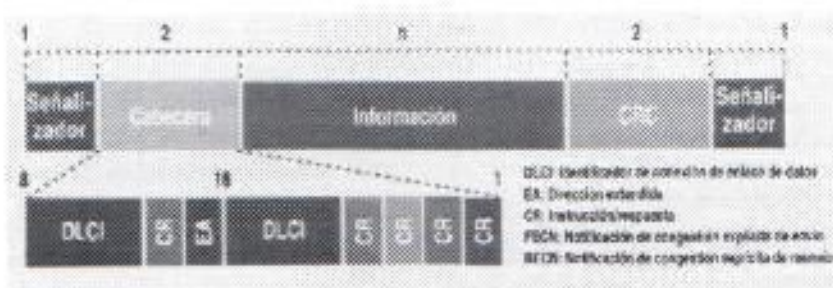


Figura 1.9.- Campos de la trama de frame relay

La longitud de el campo de dirección y por ende el DLCI, está determinado por los bits de extensión del campo de dirección (EA). El C/R es una función específica y no es usada por el estándar de el protocolo Frame Relay. El resto de bits del campo de dirección se utilizan para el control de congestión y serán discutidos más adelante

#### 1.1.2.4 Funciones de Red

Las funciones de Retransmisión de tramas desempañadas por RDSI o una red que soporte Frame relay consiste en el ruteo de tramas con el formato basados en los valores de los DLCI.

Supongamos un gestor de tramas en una situación en que un número de usuarios están conectados directamente a un gestor de tramas sobre diferentes canales físicos. La lógica de hacer decisión está conceptualmente separada como un módulo

separado: El punto de control de retransmisión de tramas. Este módulo es responsable de hacer decisiones de ruteo.

Tipicamente el ruteo está controlado por tablas de conexión basadas en DLCI que mapean tramas entrantes desde un canal a otro. El gestor de trama conmuta una trama desde un canal entrante a un canal de salida, basados en la aproximación de la tabla de conexión, y traslada el DLCI en la trama antes de la transmisión.

Es de notar que la conexión lógica al punto de control de retransmisión de tramas debe tener un valor de DLCI = 0. Esta conexión está reservada para un canal de control de llamadas.

Como parte de la función Frame relay, los FCS de cada trama entrante son chequeados. Cuando un error es detectado, la trama es simplemente descartada. Es responsabilidad de los usuarios finales recuperar este error en el Protocolo Frame Relay.

### 1.1.2.5 Control de Congestión

La figura 1.10 muestra de forma genérica los efectos de la congestión. Como la carga en la red se incrementa, una región de congestión es alcanzada, donde el retardo de los nodos resulta en un incremento del retardo extremo a extremo que reduce la capacidad de proveer un mayor rendimiento. Cuando un punto de congestión es alcanzado la respuesta clásica es un dramático incremento de los retardos y un colapso en el rendimiento.

El objetivo de las técnicas de control de congestión es limitar longitudes de los gestores de tramas

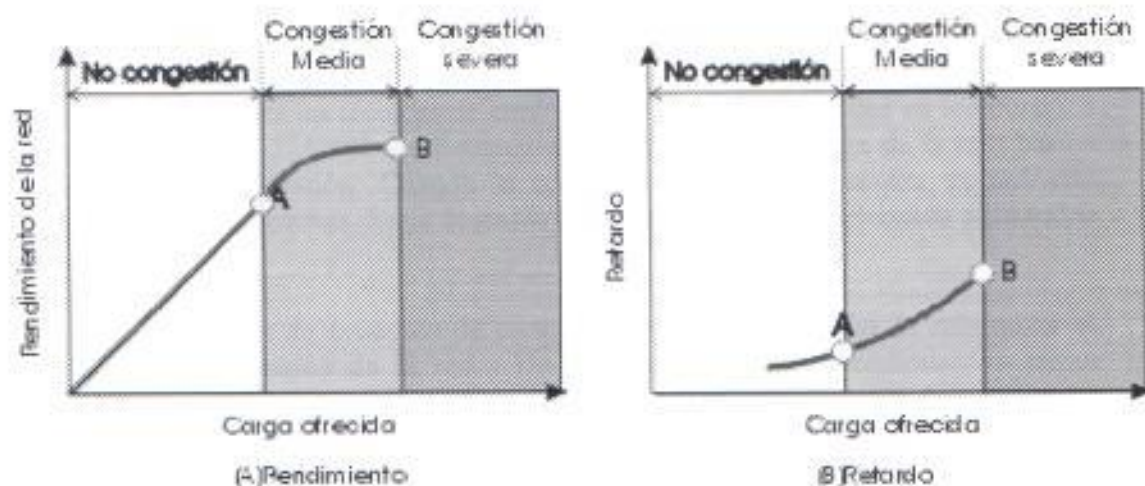


Figura 1.10.- Efectos de la congestión

### 1.1.2.5.1 Aproximaciones del control de congestión Frame Relay

La recomendación L370 de la ITU-T define los objetivos para el control de congestión en Frame Relay:

- Minimización del rechazo de tramas
- Mantener con una alta probabilidad y una mínima varianza de una calidad de servicio adecuada.
- Minimizar la posibilidad de que un usuario final monopolice los recursos de la red a expensas de otros usuarios finales.
- Sencillez de operación y minimización del costo para el usuario y la red.
- Agregar un mínimo tráfico a la red
- Distribuir recursos de la red equitativamente entre los usuarios finales de la red.

El reto del control de congestión es especialmente importante en una red Frame Relay debido a la limitación de herramientas disponibles en los gestores de tramas. Se ha mejorado Frame Relay con el fin de maximizar el rendimiento y la eficiencia. Una consecuencia de este hecho es que el gestor de tramas no puede controlar el flujo de tramas desde un suscriptor o un gestor de tramas adyacente usando el protocolo de control de ventana deslizante como en LAPD.

El control de congestión es responsabilidad de la red y de los usuarios finales. La red ( ó el grupo de gestores de trama) están en la posición de monitorear el grado de congestión, mientras que los usuarios finales constituyen el mejor punto para el control de congestión mediante la limitación del flujo de tráfico.

La tabla 1.2 enumera las técnicas de control de congestión definidas en los diversos documentos ITU-T y ANSI. La Estrategia de Rechazo: se encarga de la más básica respuesta a la congestión. Cuando la congestión llega a ser severa, la red está forzada a descartar tramas. Sería deseable hacer esto de manera adecuada para todos los usuarios.

Los procedimientos de evitación de congestión se usan con el fin de minimizar el efecto de la congestión de la red. De este modo, estos procedimientos serían iniciados en ó antes del punto A de la figura 1.10 para prevenir que la congestión alcance el punto B. Cerca del punto A existe poca evidencia para los usuarios finales de que la congestión está aumentando, por lo que debe existir algún mecanismo de señalización explícita de la red que active la evitación de congestión.

Técnica	Tipo	Función	Elementos clave
Control de Rechazo	Estrategia de rechazo	Proporciona ayuda a la red sobre las tramas a rechazar	Bit DE
Notificación de congestión explícita hacia atrás	Evitación congestión	de Proporciona ayuda a los sistemas finales acerca de la congestión en la red	Bit BECN
Notificación de congestión explícita hacia delante	Evitación congestión	de Proporciona ayuda a los sistemas finales acerca de la congestión en la red	Bit FECN
Notificación de congestión implícita	Recuperación de congestión	El sistema final infiere la existencia de congestión a partir de la pérdida de tramas	Números de secuencia en las PDU de capas superiores

**Tabla 1.2.- Técnicas de control de congestión en retransmisión de tramas.**

Los procedimientos de recuperación de congestión se usan para prevenir el colapso de la red ante una congestión severa. Los procedimientos se inician generalmente cuando la red ha comenzado a perder tramas debido a la congestión. Esta pérdida de tramas se indica mediante algún software de capas superiores(LAPF), y sirve como mecanismo de señalización implícita. Las técnicas de recuperación de congestión operan en torno al punto B y en la región de congestión severa como se muestra en la figura 1.10.

### 1.1.2.5.2 Gestión de tasa de tráfico

Como último recurso una red de retransmisión de tramas debe descartar tramas para combatir la congestión.

Una forma sencilla de combatir la congestión en una red de retransmisión de tramas es simplemente descartar tramas arbitrariamente, sin saber la fuente de una trama en particular.

Para aprovechar los servicios de gestión de tramas se define un nuevo termino denominado (CIR). Esta es una velocidad en bit por segundo, que la red puede soportar para una conexión particular en modo trama. Un dato transmitido a una velocidad mayor que el CIR es vulnerable a ser descartada si se produce una congestión.

Cada nodo de una red Frame Relay debe manejar el valor de el CIR de manera que la suma de la velocidad de todas las conexiones de entrada no excedan la capacidad del nodo. También se debe tener presente que la velocidad de los datos en la interfaz usuario red no debe exceder el valor del CIR.

$$\sum_i CIR_{i,j} \leq Velocidad - Acceso_j$$

Donde :

$C_{ij}$  = tasa de información contratada para la conexión  $i$  del canal  $j$

Velocidad de acceso  $v_i$  = velocidad de datos del canal de acceso de usuario  $i$  (D, B ó H)

Para conexiones permanentes en Frame Relay el CIR para cada conexión debe ser establecida cuando la conexión es hecha entre el usuario y la red. Para conexiones conmutadas el Parámetro CIR debe ser negociado, esto es realizado en la fase de establecimiento del protocolo de control de llamadas.

El CIR provee una manera de discriminación entre tramas cuando se tenga una etapa de congestión. Esta discriminación es indicada por medio del bit Elegible de rechazo (DE) en la trama LAPF. Un gestor de trama debe ser elegido por el usuario, luego el usuario envía datos a una velocidad menor que el CIR. El gestor de trama entrante entonces no altera el bit DE. Si la velocidad excede el valor del CIR, el gestor de trama de entrada altera el valor del bit DE, así si la red se encuentra en congestión entonces esta trama debe ser descartada.

El CIR por sí mismo, no provee mucha flexibilidad en el control de velocidad de tráfico. En la práctica, un gestor de trama controla el tráfico sobre cada conexión lógica.

Dos parámetros adicionales, asignados en conexiones permanentes y negociados en conexiones conmutadas, son necesitados.

Estos son:

Committed Bursts Size ( $B_c$ ).-Cantidad máxima de datos que la red puede transmitir, bajo condiciones normales, sobre un intervalo de tiempo  $T$ .

Excess Burst Size ( $B_e$ ). Cantidad máxima de datos en exceso de  $B_c$  que la red acepta transferir, bajo condiciones normales, sobre un intervalo de tiempo  $T$ .

La cantidad de datos  $B_c$  y CIR están relacionadas

### 1.1.2.5.3 Recuperación de congestión con señalización explícita

Un grupo de investigadores se dio cuenta que la congestión se da en los con mayor intensidad en los nodos intermedios que en los nodos de salida de la red.

Se han desarrollado dos estrategias para el control de congestión explícita.

Notificación de congestión Explícita hacia atrás. Notifica a el usuario que se puede dar congestión en la dirección opuesta a la que se recibió la trama. La notificación indica que las tramas transmitidas por el usuario en esta conexión lógica pueden encontrar los recursos congestionados.



Notificación de congestión explícita hacia adelante. Notifica a el usuario esta trama, en esta conexión lógica, ha encontrado congestionados los recursos.

#### **1.1.2.5.4 Recuperación de congestión con señalización implícita**

Señalización implícita ocurre cuando la red descarta una trama, y esto es detectado por el usuario final en capas superiores, capas extremo a extremo, a la del protocolo de control LAPF, cuando esto ocurre, el software del usuario final deduce que existe congestión

Por ejemplo, en el protocolo de control de enlace de datos LAPF, se usa las técnicas de ventanas deslizantes para el control de flujo y de errores, el protocolo detecta la pérdida de una trama de una de las siguientes formas:

Cuando una trama es desechada por la red, la siguiente trama generará una trama REJ desde el punto receptor.

Cuando una trama es anulada por la red no se retorna un mensaje de confirmación desde el usuario destino.

Una vez que la congestión es detectada el protocolo realiza un control de flujo para recuperar esta congestión.

### **1.1.3 ATM**

Modo de transferencia asincrónica, también conocida como retransmisión de celdas, conceptualmente es similar a retransmisión de tramas, y han tenido historias similares, frame relay fue desarrollada como parte de trabajo de RDSI y ATM fue desarrollada como parte de trabajo sobre banda ancha de RDSI.

#### **1.1.3.1 Arquitectura del protocolo.**

El modo de transferencia asincrónica (ATM) en algunos aspectos es similar a la conmutación de paquetes usados en X.25 y a frame relay.

ATM al igual que X.25 y frame relay realiza la transferencia de datos en trozos discretos y también múltiples canales lógicos pueden ser multiplexados sobre una misma interfaz física. En el caso de ATM la información que fluye sobre cada conexión lógica es organizada en paquetes de tamaño fijo llamados celdas.

ATM es un protocolo con mínima capacidad de control de errores y flujo, por esto trabaja a alta velocidad, también para esto contribuye que ATM trabaja con celdas de tamaño fijo, ya que esto simplifica el procesamiento en cada nodo ATM.

La arquitectura básica (figura 1.11) para la interfaz usuario red es como sigue:

La capa física especifica el medio de transmisión y la codificación de la señal, la velocidad de datos especificado en la capa física es de 155.52 y 622.08 Mbps, pudiendo trabajar con velocidades inferiores y superiores.

Dos capas de la arquitectura se encuentran relacionadas con las funciones ATM. Existe una capa común a todos los servicios de conmutación de paquetes y una capa de adaptación ATM (AAL) dependiente del servicio. La capa ATM define la transmisión de datos en celdas de tamaño fijo, al tiempo que establece el uso de conexiones lógicas. El empleo de ATM crea la necesidad de una capa de adaptación para admitir compatibilidad con protocolos de transferencia de información no basados en ATM. AAL agrupa información de capas superiores en celdas ATM para enviarlas a través de una red ATM, al tiempo que extrae la información de las celdas ATM y las transmite a las capas superiores.

El modelo de transferencia hace mención a tres planos separados:

- **Plano de usuario:** permite la transferencia de información y hace uso de controles (control de flujo y errores).
- **Plano de control:** Realiza el control de llamadas y las funciones de control de conexión.
- **Plano de gestión:** Este plano proporciona la coordinación entre todos los planos, y gestión de capas.

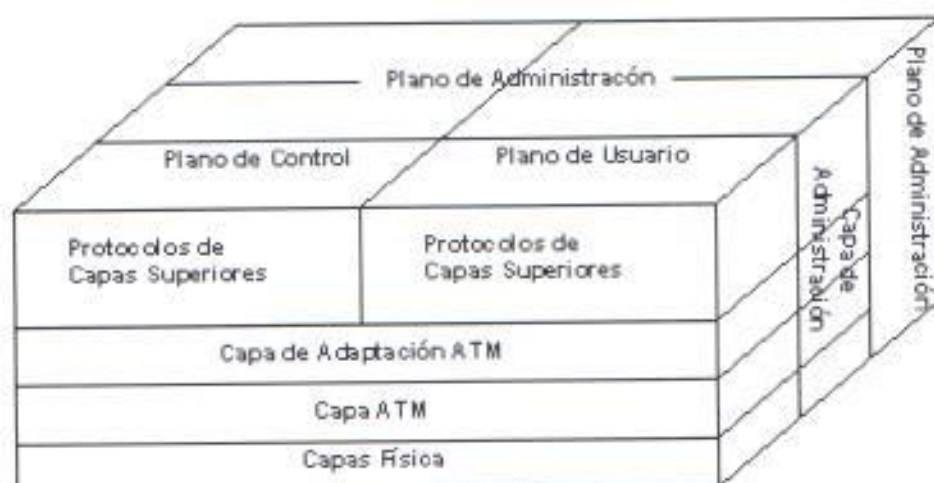


Fig. 1

**Figura 1.11.- Modelo de referencia del protocolo ATM.**

### 1.1.3.2 Conexiones Lógicas ATM

Las conexiones lógicas en ATM están relacionadas con las conexiones de canales virtuales (VCC). Una VCC es similar a un circuito virtual en X.25 o a una conexión de enlaces de datos en la técnica de frame relay; Una VCC se establece entre dos usuarios finales a través de la red.

Se ha introducido una segunda capa de procesamiento en ATM para gestionar el concepto de camino virtual (Ver figura 1.12). Una conexión de camino virtual (VPC) es un haz VCC con los mismos extremos, de manera que todas las celdas fluyendo a través de las VCC de una misma VPC se conmutan conjuntamente.

El concepto de camino virtual se desarrolla en respuesta a una tendencia en redes de alta velocidad en la que el coste de control está alcanzando una elevada proporción del costo total de la red. Así las acciones de la gestión de red pueden ser aplicadas a un pequeño número de grupos de conexiones en lugar de a un gran número de conexiones individuales.

El uso de caminos virtuales presenta varias ventajas:

- Arquitectura de red simplificada.
- Incremento en eficiencia y fiabilidad.
- Reducción en el procesamiento, y tiempo de conexión pequeño.
- Servicios de red mejorados.

Una forma de realizar un proceso de establecimiento usando canales y caminos virtuales. El proceso de establecimiento de un camino virtual se encuentra desvinculado del proceso de establecimiento de un canal virtual:

Entre los mecanismos de control de un camino virtual se encuentra la obtención de las rutas, reservas de capacidades.

El control involucrado en el establecimiento de un canal virtual individual incluye la comprobación de la existencia de un camino virtual al nodo destino deseado con suficiente capacidad disponible para dar soporte al canal virtual, con la calidad de servicio adecuada.

### **1.1.3.3.- Uso De Canales Virtuales.**

Entre usuarios finales: una VPC entre usuarios finales les concede una capacidad total; la organización VCC de la VPC se utiliza por los dos usuarios finales siempre que el conjunto de las VCC no supere la capacidad de la VPC.

Entre un usuario final y una entidad de red: una VPC usuario-red puede emplearse conjuntamente para tráfico desde un usuario final y para tráfico de intercambio de red o servidor de red.

Entre dos entidades de red: una VPC red-red puede usarse para definir una ruta común para el intercambio de información de gestión de red.



**Figura 1.12.- Relaciones entre conexiones ATM**

#### 1.1.3.4.- Características Camino Virtual/Canal Virtual.

Se especifican las siguientes características para las conexiones de canales virtuales:

- **Calidad de servicio:** un usuario de una VCC es provisto con una calidad de servicio especificada por parámetros tales como la tasa de pérdidas de celdas y la variación del retardo de celda.
- **Conexiones de canales virtuales conmutados y semipermanentes:** pueden existir tanto conexiones conmutadas, que requieren señalización de llamada, como canales dedicados.
- **Integridad de la secuencia de celda:** se preserva la naturaleza secuencial de las celdas en una VCC.
- **Negociación de parámetros de tráfico y supervisión de su uso:** entre el usuario y la red se pueden negociar parámetros de tráfico para cada VCC, entre los cuales se encuentran la velocidad media, la velocidad de pico, el tipo de ráfagas y duración de pico. La red puede hacer uso de varias estrategias para gestionar las VCC ya existentes así como las solicitadas. Para evitar el problema de congestión, la red puede denegar nuevas solicitudes de VCC; adicionalmente, las celdas pueden ser rechazadas si los parámetros negociados se incumplen o si la gestión llega a ser importante, pudiendo ser liberadas las conexiones existentes.

Estas cuatro características son idénticas para las VPC, pero adicionalmente existe una quinta característica para las VPC:

- **Restricción de identificador de canal virtual en una VPC:** la red puede reservarse VCC para la gestión red.

#### 1.1.3.5.- Señalización De Control.

El documento I.150 especifica 4 métodos para llevar a cabo el establecimiento/liberación de VCC:

- Las VCC semipermanentes pueden usarse para el intercambio usuario-usuario, en cuyo caso no se necesita señalización de control.
- Establecer un canal de señalización de control de llamada preestablecido, si este no existe crearlo mediante el uso del canal permanente llamada canal de meta-señalización.
- El canal de meta-señalización puede usarse para establecer una VCC entre el usuario y la red para la señalización de control de llamada.
- El canal de meta-señalización puede emplearse para establecer un canal virtual de señalización usuario-usuario, que debe configurarse en una VPC establecida.

Se definen tres métodos para VPC:

- Una VPC puede establecerse de forma semipermanente con negociación previa.
- El establecimiento/liberación de las VPC puede ser controlada por el usuario.
- El establecimiento/liberación de las VPC puede ser controlado por la red.

### **1.1.3.6.- Celdas ATM.**

ATM utiliza celdas de tamaño fijo, que constan de 5 octetos de cabecera y de un campo de información de 48 octetos. El empleo de celdas de tamaño fijo presentan varias ventajas:

Reduce el retardo de cola para celda de alta prioridad.

Puede ser conmutada más eficientemente.

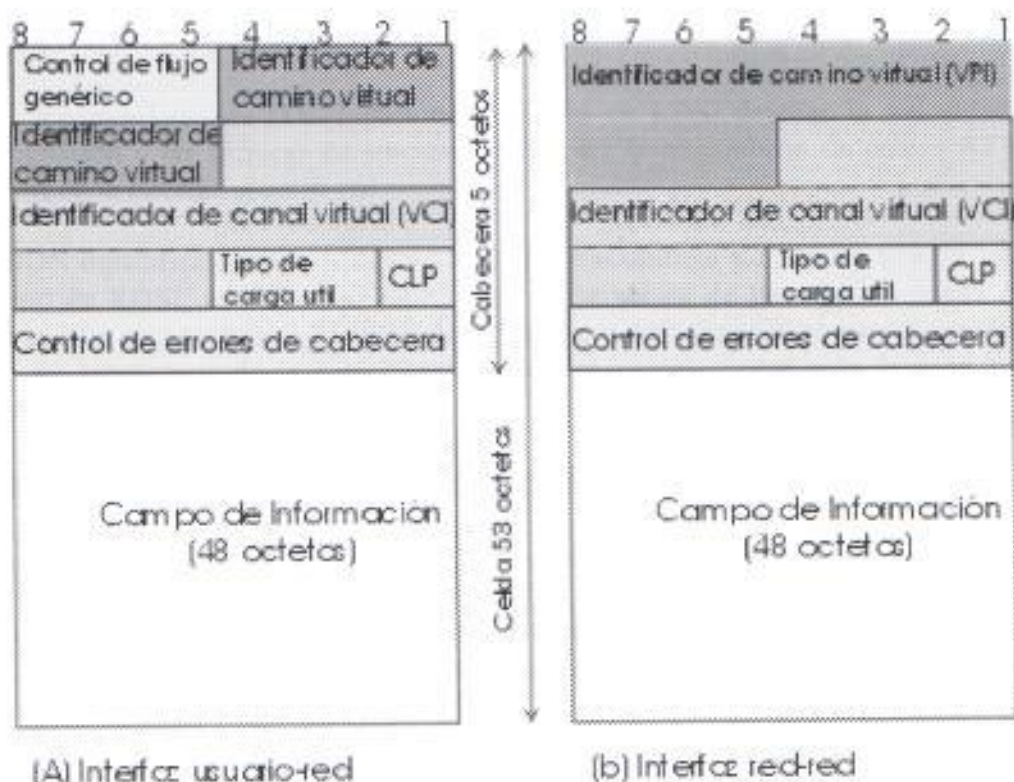
La implementación física de los mecanismos de conmutación es más fácil.

#### **1.1.3.6.1. –Formato de cabecera**

La fig 1.13a muestra el formato de cabecera en la interfaz usuario red. En la figura 1.13b se muestra el formato de cabecera interno a la red, en el que no se especifica el campo de control de flujo genérico, que realiza funciones extremo a extremo. En cambio el campo identificador de camino virtual pasa de 8 a 12 bits, lo que permite un gran número de VPC internos a la red, para dar cabida a los de los suscriptores y a los necesarios para la gestión de la red.

El campo control de flujo genérico (GFC) no se incluye en la cabecera de las celdas internas a la red, sino sólo en el interfaz usuario-red, por lo que únicamente se puede usar en el control de flujo de celdas en el interfaz local usuario-red. Este

mecanismo se usa con el fin de aliviar la aparición esporádica de sobrecarga en la red.



**Figura 1.13.- Formato de celda ATM**

El identificador de camino virtual (VPI): es un campo de encaminamiento para la red. Este es de 8 bits para el interfaz usuario-red y de 12 bits para el interfaz red-red, permitiendo un número superior de caminos virtuales en la red.

El identificador de canal virtual (VCI): se emplea para encaminar a y desde el usuario final, funcionando como un punto de acceso al servicio.

El campo tipo de carga útil: indica el tipo de información contenida en el campo de información.

La prioridad de pérdida de celda (CLP): se emplea para ayudar a la red ante la producción de congestión. Un valor cero indica que la celda es de prioridad relativamente superior, un valor uno indica que la celda puede descartarse en la red.

#### 1.1.3.6.2.- Control De Errores De Cabecera.

Cada celda ATM incluye un campo de control de errores de cabecera de 8 bits (HEC) que se calcula en base a los restantes 32 bits de la cabecera. El hecho de que esta entrada sea relativamente pequeña permite el uso del código no solo para la detección de errores, sino que, en algunos casos se posibilita la corrección de estos.

Esto se debe al hecho de que existe suficiente redundancia en el código para determinados patrones de error.

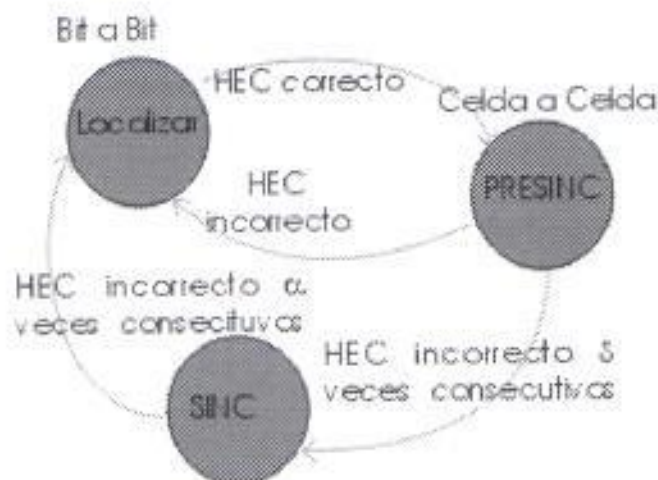
### 1.1.3.7.- Transmisión De Celdas ATM.

Las recomendaciones ITU-T para banda ancha en RDSI detallan la velocidad de transmisión y las técnicas de sincronización para la transmisión de celdas ATM a través de la interfaz usuario-red.

BISDN especifica que las celdas ATM deben transmitirse a 155.52 o 622.08 Mbps. Como en RDSI, es necesario especificar la estructura de transmisión usada para transportar esta carga útil. En I.413 se definen dos aproximaciones para la interfaz a 155.52 Mbps: una de la capa física basada en celdas y otra para la capa física basada en SDH.

#### 1.1.3.7.1 Capa Física Basada En Celdas.

Aquí no se impone fragmentación. La estructura de la interfaz consiste en una secuencia continua de celdas de 53 octetos. Dado que no existe imposición de tramas externas en la aproximación basada en celdas, es necesaria la forma de llevar a cabo la sincronización, lo que se consigue con el campo de control de errores de cabecera (HEC) en la cabecera de celda. El procedimiento es como sigue (Figura 1.14):



**Figura 1.14.- Diagrama de estados del procedimiento de delimitación de celdas**

1. En el estado LOCALIZAR se ejecuta un algoritmo de delimitación de celdas bit a bit, para determinar el cumplimiento de la ley de codificación HEC.
2. En el estado PRESINC se supone una estructura de celda. El algoritmo de delimitación de celda se ejecuta celda a celda hasta que la ley de decodificación de confirme delta veces consecutivas.
3. En el estado SINC se usa el HEC para la detección y corrección de errores.

La delimitación de celda se considera perdida si la ley de codificación HEC resulta incorrecta  $\alpha$  veces consecutivas.

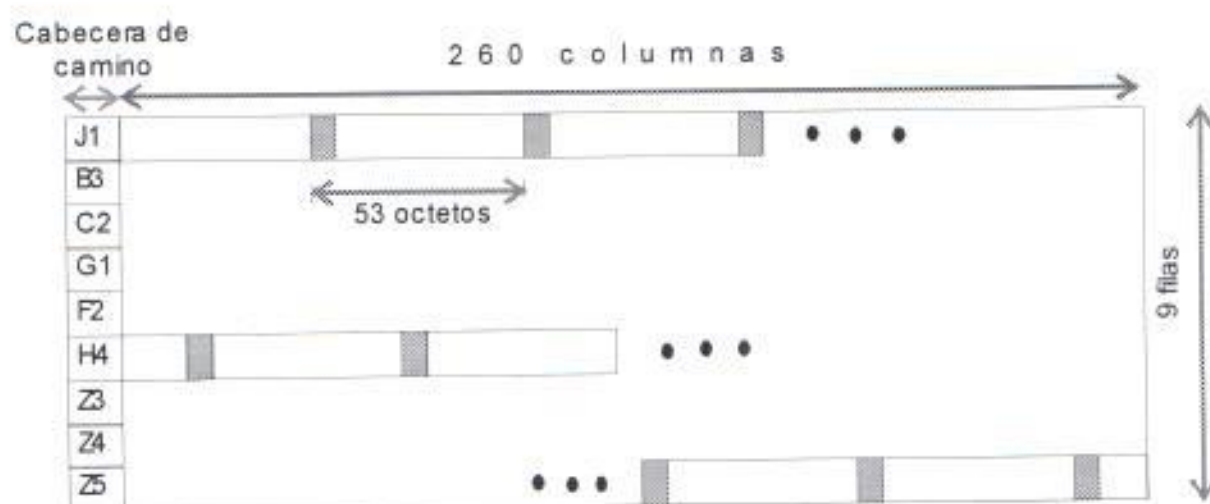
Los valores  $\alpha$  y  $\delta$  son parámetros de diseño.

La ventaja de usar este esquema es la sencillez de la interfaz.

### 1.1.3.7.2. -Capa física basada en SDH.

Alternativamente, las celdas ATM pueden transmitirse sobre una línea haciendo uso de SDH (JERARQUIA DIGITAL SINCRONA), aquí se impone la fragmentación usando la trama STM-1. La figura 1.15 muestra la porción de carga útil de una trama STM-1. La carga útil de la trama puede ser desplazada respecto del principio de la trama, esta carga útil consta de 9 octetos suplementarios de cabecera del camino.

Dado que la capacidad de la carga útil no es múltiplo entero de la longitud de la celda, ésta puede superar una frontera de carga útil.



**Figura 1.15 .- Carga útil STM-1 para transmisión de celdas ATM basada en SDH**

El octeto H4 del campo suplementario se utiliza en el extremo emisor para indicar la próxima llegada de una frontera de celda.

Entre las ventajas de la aproximación basada en SDH se encuentran las siguientes:

- Puede usarse para transportar cargas útiles basadas en ATM o STM, haciendo posible el uso de una infraestructura de transmisión de fibra óptica de alta capacidad.



- Algunas conexiones específicas pueden ser de conmutación de circuitos usando un canal SDH.
- Se puede combinar varias secuencias ATM para construir interfaces de velocidad superior, haciendo uso de técnicas de multiplexación síncrona SDH.

### 1.1.3.8.-Funciones de la capa de ATM

#### Plano del Usuario

- Genera y extrae los encabezados (header) de las celdas (excepto HEC)
- Traduce VPI/VCI en switches nodales.
- Rutea celdas a través del switch ATM
- Reconoce el tipo de carga y la prioridad de pérdida de celdas.
- Controla el flujo de tráfico y la congestión.
- Soporta calidad del servicio (QoS)

#### Plano de Administración.

- Administración de errores en UNI

### 1.1.3.9. -Capa AAL

La capa de adaptación ATM, es una interfase entre la capa de protocolos (Apple Talk, protocolos de Internet (IP) y Netware) y la capa ATM.

El AAL hace traducciones entre unidades de datos de servicio grandes (Service Data Units –SDUs) (como por ejemplo flujo de video y paquetes de datos) de procesos de capas muy altas y celdas ATM. Específicamente, AAL recibe paquetes de protocolos de nivel más alto y los rompe en segmentos de 48 bytes formando el campo de carga de la celda ATM.

- **Subcapa de convergencia (Convergence sublayer – CS).** Esta subcapa adapta la información dentro en múltiplos de octetos. En caso de ser necesario, se agregaran los bits que se requieran para este fin.
- **Subcapa de Segmentación y Reensamble (Segmentation and Reassembly Sublayer – SAR)** Esta subcapa segmenta la información en unidades de 48 octetos en la fuente y los reensambla en el destino.

En esta capa se soportan 5 tipos de servicios, como podemos apreciar en la tabla 1.3

### 1.1.3.9.1.- Capa AAL1

El proceso de AAL prepara a una celda para su transmisión como sigue:

- Se insertan muestras sincronas (como por ejemplo, 1 byte de datos en una tasa muestra de 125 microsegundos) dentro del campo de carga.
- Se agregan campos de Números de secuencia (Sequence Number – SN) y de protección de números de secuencia (Sequence Number Protection – SNP) para proveer información que el receptor AAL1 usa para verificar si ha recibido las celdas en el orden correcto.
- Lo que queda del campo de carga es llenado con suficientes bytes hasta igualar 48.

	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
Relación de temporización entre el origen y el destino	Requerido	Requerido	No Requerido	No Requerido
Tasa de bits	Constante		Variable	
Modo de Conexión		Orientado a Conexión		No orientado a conexión
Protocolo AAL	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3 / 4, tipo 5	Tipo 3 / 4

**Tabla 1.3.- Clasificación de servicios para AAL**

Esta capa fue diseñada por ITU-T para datos de tasas de bits continuos ( Continuous Bit Rate CBR) tales como voz y video. La aplicación más sencilla es la emulación de circuito. ALL Incluye especificaciones para segmentar una señal continua para transportarla en celdas individuales de ATM.

También debe transmitir información de tiempo a través de la red.

El tráfico de voz es muy sensible a variaciones de tiempo muy pequeñas.

### 1.1.3.9.2.- Capa AAL2

Esta capa tiene:

- 45 bytes de carga por celda.
- Tipo de artículo. Usado para indicar el inicio del mensaje, continuación del mensaje o el final del mensaje y también un componente de señal de audio o video.

- Indicador de Longitud. Indica el número de octetos de la subcapa de convergencia (CS), PDU (Protocol Data Unit) que está incluido en la carga de SAR (Segmentation And Reassembly).
- Cyclic Redundance check code. Usado para detectar errores de hasta 2 errores de bits correlacionados en el PDU del SAR.

### 1.1.3.9.3.- Capa ALL3 / 4

La capa 3 / 4 soporta datos orientados a la conexión y sin conexión. Fue diseñada por proveedores de servicio de redes y es alineado cercamente con SMDS (Switched Multimegabit Data Service). El AAL 3 / 4 será utilizado para transmitir paquetes SMDS sobre una red ATM.

La capa AAL 3 / 4 prepara una celda para su transmisión como sigue:

1. La subcapa de convergencia (CS) crea la unidad de datos de protocolo (Protocol Data Unit - PDU) agregando un encabezado con etiqueta de Inicio / Termina al frame, añadiendo un campo de longitud como rastreador (trailer).
2. La subcapa de segmentación y reensamble (Segmentation and Reassembly - SAR) fragmenta el PDU y le agrega un encabezado.
3. La subcapa del SAR también agrega un trailer a CRC-10 a cada fragmento de PDU para control de error.
4. El SAR - PDU se convierte en el campo de carga de una celda ATM en el cual la capa ATM agrega el encabezado estándar de ATM.

Un encabezado del SAR-PDU AAL 3 / 4 consiste de los siguientes campos:

- Tipo. Identifica si la celda es el principio o el final del mensaje.
- Numero de Secuencia. Identifica el orden en el cual las celdas deberian ser reensambladas.

### 1.1.3.9.4.- Capa AAL5

AAL5 es la principal AAL para datos y soporta datos orientados a la conexión sin conexión. Es usada para transferir de datos que no son SMDS, como el clásico IP sobre ATM y emulación de LANE.

AAL5 es también conocida como la capa de adaptación simple y eficiente (Simple and Efficient Adpatation Layer- SEAL), porque la subcapa de SAR acepta el CS-PDU y lo segmenta en 48 octetos SAR - PDU's, sin agregarle ningún campo adicional.

La capa AAL5 prepara a una celda para su transmisión como sigue:

1. La subcapa CS añade el número de bits necesarios y un trailer de 8 bytes al frame. Estos bits aseguran que el PDU resultante caiga en el límite de 48 bits de una celda ATM. El trailer incluye la longitud del frame y un CRC (Cyclic Redundancy Check) de 32 bits computado a través de todo el PDU. Esto permite que el AAL5 reciba procesos para la detección de errores de bits, celdas perdidas o celdas que están fuera de secuencia.
2. La subcapa SAR segmenta el CS-PDU en bloques de 48 bits. No se agrega encabezado ni trailer (como en AAL 3 /4), por lo que los mensajes no pueden ser intercalados.
3. La capa ATM coloca cada bloque dentro del campo de carga de una celda ATM. Para todas las celdas, a excepción de la última, se coloca en cero en un bit en el campo de tipo de carga (PT), indicando que la celda no es la última celda en la serie que representa un solo frame. Para la última celda, el bit en el campo PT está colocado en uno.

### **1.1.3.10.- Control de tráfico y de congestión.**

Las técnicas de control de tráfico y de congestión son vitales para el adecuado funcionamiento de las redes ATM. Sin tales técnicas, el tráfico desde nodos de usuario puede exceder la capacidad de la red, causando el desbordamiento de la memoria temporal en los conmutadores ATM y produciéndose pérdidas de datos.

### **1.1.3.11.- Requisitos para el control de tráfico y de congestión en ATM.**

Existe un gran número de herramientas para el control de congestión en redes de conmutación de paquetes y de frame relay. Estos tipos de esquemas no resultan adecuados para redes ATM, y citamos las siguientes razones:

- La mayor parte del tráfico no es adaptable al control de tráfico.
- Generalmente las redes ATM admiten un amplio rango de aplicaciones que necesitan capacidades de entre unos pocos Kbps a varios Mbps.
- Las aplicaciones en redes ATM pueden generar patrones de tráfico muy diversos.
- Diferentes aplicaciones en redes ATM requieren diferentes servicios.
- Las elevadas velocidades en conmutación y transmisión hacen que las redes ATM sean más volátiles en términos de control de congestión y de tráfico.

### 1.1.3.12.-Variación del retardo de celdas.

Cuando la primera celda se recibe en el instante de tiempo  $t(0)$ , el usuario retarda la celda una cantidad adicional  $V(0)$  antes de enviarla a la aplicación.  $V(0)$  es una estimación de la variación del retardo de celda que la aplicación puede tolerar, y que puede ser producida por la red.

El retardo inicial  $V(0)$ , que es también el retardo medio aplicado a todas las celdas entrantes, es función de la variación del retardo de celda esperada. Para minimizar este retardo, un suscriptor debe solicitar del proveedor de red una variación mínima del retardo de celdas, lo que nos lleva a: la variación del retardo de celdas puede reducirse incrementando la velocidad de los datos en la UNI relativa a la carga, e incrementando los recursos de la red.

### 1.1.3.13.-Variación del retardo de celda en el UNI.

Incluso si la aplicación transmite datos a una velocidad constante, la variación en el retardo de celda puede producirse en el origen debido al procesamiento que tiene lugar en las tres capas del modelo ATM.

Estas celdas deben ser entremezcladas en la capa ATM y enviadas a la capa física para ser transmitida a velocidades de transmisión del enlace. El retardo es introducido por este proceso de entremezclado: si dos celdas de diferentes conexiones llegan a la capa ATM en tiempo solapados, una de las celdas debe de ser retrasada en una cantidad igual al solapamiento.

Existe una posibilidad adicional de introducción de retardos de celda en la capa física, si las celdas se transmiten en tramas SDH, los bits suplementarios de estas tramas serán insertados en el enlace físico, por tanto hay bits de retardo originados en la capa ATM.

### 1.1.3.14.-Control de tráfico y de congestión.

El documento I.371 especifica los siguientes objetivos:

- El control de tráfico y de congestión en la capa ATM debería permitir un número suficiente de clases de calidad de servicio (QOS) para todos los servicios de red posible.
- El control de tráfico y de congestión en la capa ATM no debe depender del protocolo AAL, específicos del servicio de red, ni de protocolos de capa superior que sean específicos de la aplicación.
- El diseño de un conjunto óptimo de controles de tráfico y de congestión en la capa ATM debe minimizar la complejidad de la red y del sistema final, al tiempo que maximiza la utilidad de la red.

Para conseguir estos objetivos se consideran cuatro niveles de temporización:

1. Tiempo de inserción de celda
2. Tiempo de propagación de ida y vuelta
3. Duración de conexión
4. Término de larga duración.

La esencia de la estrategia de control de tráfico se basa en la determinación de si puede establecerse una nueva conexión específica, acordando con el suscriptor los parámetros de prestaciones tolerados.

### **1.1.3.15.- Control de tráfico.**

Se han definido varias funciones de control de tráfico con el fin de mantener la QOS de conexiones ATM:

1. Gestión de recurso de red
2. Control de admisión de conexión
3. Control de parámetros de uso
4. Control de prioridad
5. Gestión de recursos rápidos.

### **1.1.3.16.-Gestión de recursos de red.**

Como se vio anteriormente, una VPC ofrece un medio adecuado para agrupar VCC. La red ofrece características conjuntas de prestaciones y capacidad en el camino virtual, compartidas por las conexiones virtuales. Debemos considerar 3 casos:

- Aplicación usuario-usuario
- Aplicación usuario-red
- Aplicación red-red

Los parámetros de QOS más importantes relacionados con la gestión de los recursos de red es la tasa de pérdida de las celdas, el retardo de transferencia de celdas y la variación en el retardo de celdas. Todos ellos se ven afectados por la

cantidad de recursos dedicados por la red a la VPC. La red dispone de dos opciones para reservar capacidad para la VPC:

- Demanda conjunta de pico.
- Multiplexación estadística.

Cuando se usa multiplexación estadística es preferible agrupar las VCC en varias VPC bajo la consideración de características de tráfico y necesidad de QOS similares.

### **1.1.3.17.-Control de admisión de conexión.**

El control de admisión de conexión es la primera línea de defensa de autoprotección de la red ante una carga excesiva. En esencia, cuando un usuario solicita una nueva VCC o VPC, debe especificar las características de tráfico para la conexión en ambas direcciones. El usuario selecciona las características de tráfico mediante la elección de una QOS de entre las clases que ofrece la red. La red acepta la conexión sólo si puede conseguir los recursos necesarios para admitir el nivel de tráfico, al tiempo que mantiene la QOD convenida en las conexiones existentes. Al aceptar la conexión la red continúa ofreciendo la QOS convenida mientras el usuario cumpla con el contrato de tráfico.

El contrato de tráfico consta de: velocidad pico de celda, variación del retardo de celda, velocidad sostenible de celda y tolerancia a la aparición de ráfagas.

La red para cuidar que todos estos parámetros no incumplan lo establecido hace constante uso de algoritmos de verificación de estos parámetros.

### **1.1.3.18.-Control de parámetros de uso.**

Las celdas que no cumplan con el contrato de tráfico pueden ser marcadas a opción de la red. En este caso, una celda que no cumpla con el contrato puede ser marcada con CLP=1 (baja prioridad) y aceptada, pudiendo ser descartada de la red posteriormente.

La situación resulta más compleja en el caso de que el usuario haya negociado dos niveles de prioridad de pérdidas de celdas para una red. Recordemos que el usuario puede negociar un contrato para tráfico de alta prioridad (CLP=0) y un contrato separado para tráfico conjunto (CLP 0 ó 1).

### **1.1.3.19.-Contrato de prioridad**

Este control entra en juego cuando la red, en algún punto superior a la función UPC, rechaza celdas (CLP=1). El objetivo es rechazar celdas de baja prioridad para proteger las prestaciones para celdas de alta prioridad.

### 1.1.3.20.-Gestión de recursos rápidos

Es la capacidad de la red para responder a la solicitud de un usuario en envío de una ráfaga; es decir el usuario desea exceder temporalmente el contrato de tráfico para enviar una ráfaga de datos.

### 1.1.3.21.-Control de congestión

Se refiere al conjunto de acciones realizadas por la red para minimizar la intensidad, la extensión y la duración de la congestión.

- Rechazo selectivo de celdas
- Indicación de congestión explícita hacia delante

## 1.2.- Modos de Transporte

Una vez visto los modos de transmisión de las redes actuales vamos a analizar la forma de dar soporte por medio de los diferentes modos de transporte usados actualmente. Empezaremos estudiando brevemente los mecanismos utilizados en PDH para después realizar un estudio de las redes SDH y también estudiar una nueva tecnología que está entrando al mercado denominado DWDM.

### 1.2.1.- Las redes PDH

Antiguamente, las conversaciones telefónicas (señales de 4Khz) se multiplexaban en frecuencia en las centralitas y nodos de conmutación para ser transportadas de una manera eficiente. Sin embargo, en la década de los setenta aparecieron los primeros sistemas digitales que codificaban las conversaciones telefónicas con PCM en canales de 64 Kbps. La división en frecuencia no era ya una solución apropiada para la multiplexión de estas señales y había que pasar a sistemas por división en el tiempo. Simultáneamente aparecieron en Europa y USA, soluciones para la multiplexión de canales digitales de 64 Kbps. Así aparecían las redes PDH (Plesynchronous digital Hierarchy) que estructuraban la manera de multiplexar canales de 64 Kbps en canales digitales de mayor capacidad. Esto que parecía una buena solución planteaba en realidad una serie de problemas entre los que destacamos los siguientes:

- La red era plesincrona (casi sincrona), es decir que no todos los equipos transmitían exactamente a la misma velocidad, lo que conllevaba serios problemas en la multiplexión de distintas fuentes y obligaba a implantar complicados y caros mecanismos con bits de justificación para, añadiendo o quitando de estos bits, igualar las velocidades de las fuentes.



- La operación de inserción y extracción de se realiza al multiplexar en cada uno de los niveles de la jerarquía. Por este motivo localizar una señal de 64 Kbps dentro de una trama de nivel superior supone demultiplexar todos los niveles uno a uno, identificando los bits de relleno, hasta el nivel inferior. La operación de insertar una señal nueva supondría también demultiplexar toda la trama nivel a nivel, añadir el nuevo canal y multiplexar de nuevo todo el sistema añadiendo o quitando los bits de justificación. Como se puede observar la operación resultante es realmente compleja y requiere el uso de un número elevado de equipos. Además, la rigidez de esta estructura choca frontalmente con la flexibilidad que se demanda hoy en día.
- Europa (con los E1, E2, E3, E4, E5), Estados Unidos (con su T1, T2, T3, T4) y Japón (con su J1, J2, J3, J4, J5) tienen distintos niveles de jerarquías que requieren equipos muy caros y complejos para poder adaptarlas (figura 1.16)

### 1.2.1.1.- Principio de operación de PDH

La jerarquía de multiplexado descrita presenta la característica de que los canales multiplexados pueden ser generados por diferentes equipos, cada uno con una ligera diferencia de sincronización.



**Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)**  
**Figura 1.16.- Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)**

Así que antes de multiplexar los canales de 2 Mbps se tiene que añadir información con el fin de sincronizarlos. Esta información, en forma de bits, son los llamados

“bits de justificación”. Estos bits de justificación son reconocidos por el proceso de demultiplexado, y son eliminados, dejando la señal original.

Este proceso es conocido como una operación plesiócrona del griego, significante “casi sincrónica”.

El mismo problema de sincronización aparece a cada nivel de la jerarquía de multiplexado, de tal manera que se tienen que añadir bits de justificación en cada etapa de multiplexado. La utilización de la operación plesiócrona a lo largo de toda la jerarquía ha originado el término “jerarquía digital plesiócrona”, o PDH (del inglés Plesiochronous Digital Hierarchy).

### 1.2.1.2.- Estándares PDH

Los estándares son necesarios para poder hacer trabajar equipamientos de diferentes fabricantes. Ahora bien, hay más de un estándar. Los más importantes son el CEPT/E, que se utiliza principalmente en Europa, y el DS ( o T) que se usa principalmente en EEUU y en algunos países del extremo oriente.

Centrándose en los estándares europeos, que son los que se utilizan en nuestro país, la primera jerarquía de E es el E1 y está compuesta por 32 canales haciendo un total de  $32 \times 64$  Kbps. Dos de estos canales se utilizan para sincronización y señalización.

Las siguientes son E2, E3, E4. La jerarquía E2 es el multiplexado de 4 sistemas E1, E3 de 16 E1 y E4 de 4 sistemas E3. Las capacidades de cada una se muestran en la tabla 1.4

Nombre	Canales de Información	Velocidad
E1	30	2.048 Mbps
E2	4E1=120	8.448 Mbps
E3	16E1=480	34.368 Mbps
E4	4E3=1920	139.264 Mbps

**Tabla 1.4.- Velocidades PDH**

No se ha estandarizado sistemas de mayor velocidad para el tipo PDH. Para velocidades más altas, se utilizan los formatos SDH y SONET.

### 1.2.1.3.- Limitaciones de PDH

La técnica de transmisión PDH es parte de una evolución en cuanto a las técnicas de transmisión que se ha presentado porque cada vez hay mayores demandas de abonados, calidad de transmisión de la señal, velocidad de transmisión, entre otros.

La técnica de transmisión PDH, con el transcurrir de los tiempos, presentó limitaciones que llevaron a ser reemplazada por una nueva técnica llamada SDH, con la que se solucionaron limitaciones como las que se citarán a continuación:

#### 1.2.1.4.- Flexibilidad

La existencia de bits de justificación en cada nivel de multiplexado, indica que para identificar la localización exacta de las tramas, y poder extraer en un nodo, un canal de 2 Mbps dentro de una línea de mayor velocidad, como podría ser de 140 Mbps, se hace necesario demultiplexar totalmente la señal.

En el caso de 140 Mbps se tiene que demultiplexar los 64 componentes de 2 Mbps pasando por los demultiplexados de 34 y 8 Mbps. Una vez identificada y extraída la línea de 2 Mbps tiene que volver a multiplexarse los canales de 140 Mbps.

Esta característica dificulta la flexibilidad de los conexiones, haciendo más lento el proceso e incrementa el número necesario de multiplexores y demultiplexores, con el consecuente coste de equipamientos y mantenimiento, conforme se incrementa el número de nodos y la velocidad de la línea.

#### 1.2.2.- Las redes SDH

Para resolver los problemas antes comentados, apareció en Estados Unidos el estándar SONET (Synchronous Optical Network) en el que se basó la CCITT para crear el estándar SDH (Synchronous Digital Hierarchy). La principal diferencia de estos sistemas es que eran sincrónicos (es decir con un reloj único en toda la red) y solucionaban por tanto los problemas anteriores y ofrecían una red cuyas principales ventajas eran:

- Compatibilidad: Algo fundamental para que este nuevo sistema pudiera implantarse es que permitía la coexistencia con los sistemas PDH existentes ya que las tramas SDH podían transportar tramas PDH en los denominados contenedores que veremos luego.
- Estandarización: Es muy importante la existencia de un estándar que se sigue en todos los países del mundo y que facilita la interconexión entre países así como la economía de escala.
- Simplificación de la red: La existencia de un sincronismo único en toda la red facilita la operación de inserción y extracción de tributarios en las tramas multiplexadas, resultando en una reducción de equipos en la red y la consiguiente disminución de costes.
- Flexibilidad: La sencillez para acceder a los canales que componen las tramas de alta velocidad de SDH (sacando y añadiendo sin necesidad de demultiplexar y multiplexar todo como en PDH) y la facilidad para reasignar los circuitos

hacen muy rápida la tarea de asignar una capacidad específica a los clientes que la demanden, y mantener unas necesidades dinámicas.

- **Fiabilidad:** La estructura de tramas (con cabeceras para distintos niveles) y las topologías en anillo (con sus mecanismos de protección y recuperación automática ante fallos) ofrecen una gran capacidad para gestionar, controlar y proteger el tráfico de estas redes. Esto tiene una gran importancia ya que hoy en día se valora mucho la calidad de servicio.

### 1.2.2.1.-Las tramas de SDH

La gran flexibilidad, compatibilidad y fiabilidad de SDH reside en buena parte en la forma de entramar la información. Esto se debe a que en la estructura de estas tramas se reserva mucho espacio para la gestión y control de la red a distintos niveles, y a la forma en que se mete la información en las tramas que permite integrar canales de distintas velocidades pudiendo agregar o sacar canales fácilmente en los nodos multiplexores.

### 1.2.2.2.-Estructura básica

Para comprender la estructura básica de las tramas (es decir ver el espacio reservado a cabeceras, información...), es necesario en primer lugar conocer el modelo de referencia de las redes SDH y ver como la arquitectura SDH se separa en cuatro capas:

- **Física:** Define características físicas de la red: señales eléctricas de entrada, tipo de fibra, ventana de trabajo del Láser, etc.
- **Sección:** Parte de red comprendida entre dos regeneradores de señal ópticos o eléctricos.
- **Línea:** Parte de red comprendida entre dos equipos multiplexores.
- **Trayecto:** Parte de red comprendida entre los dos extremos de la transmisión.

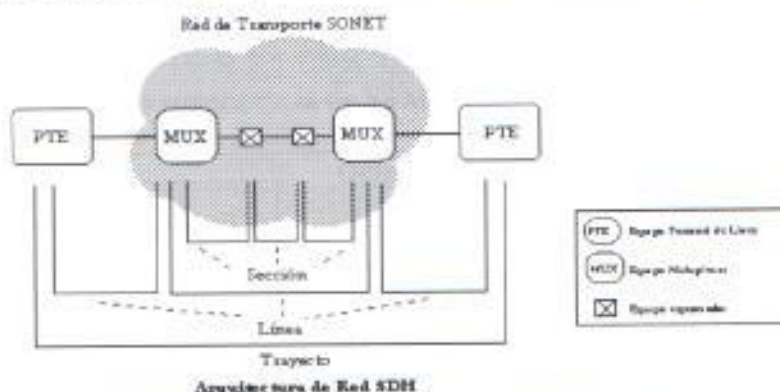


figura 1.17.- Arquitectura de una red SDH

La figura 1.17 refleja la situación de cada uno de los interfaces a los que dan lugar las capas anteriores dentro de la red.

Una vez visto esto, ya podemos entender el espacio que deja SDH para cabeceras de los distintos niveles y que facilitan la gestión y control de la red. Estamos por tanto en condiciones de ver cómo es la estructura básica de una trama STM-1 (synchronous transport mode) que se transmite cada  $125 \mu\text{s}$  lo que da una velocidad de transmisión de 155 Mbps ( $270 \times 9 \times 8 / 125 \times 10^{-6}$ ) de los cuales unos 150 Mbps ( $260 \times 9 \times 8 / 125 \times 10^{-6}$ ) pueden llevar información. En la figura 1.18 mostramos una de estas tramas:

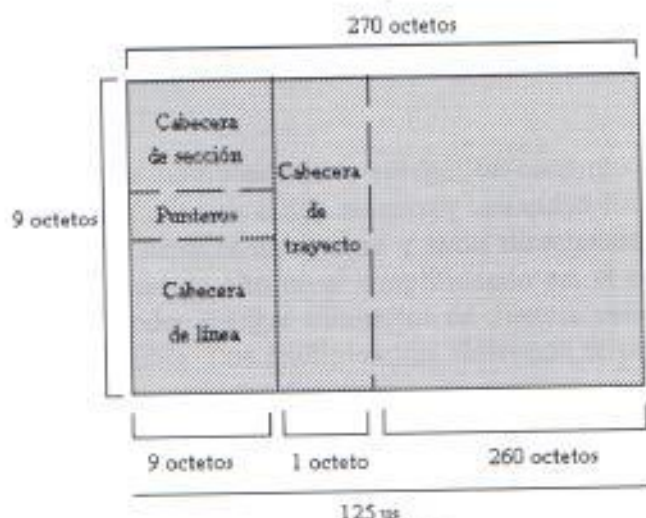


Figura 1.18.- Trama SDH

### 1.2.2.3.-Composición de tramas: jerarquía, compatibilidad y flexibilidad

Otro aspecto muy importante de las tramas SDH son la capacidad de multiplexarse o demultiplexarse con gran facilidad permitiendo compatibilidades con entramados ya existentes.

Hacia niveles superiores, la trama STM-1 puede multiplexarse con otras cuatro para formar una STM-4 de 622 Mbps que puede multiplexarse con otras cuatro como ella y formar una STM-16 de 2,5 Gbps. Obsérvese cómo la notación STM-N indica una capacidad N veces superior a la de STM-1.

Nivel	Octetos/Unidad	Velocidad
STM-1	9 x 270	155 Mbps
STM-4	4 x 9 x 270	622 Mbps
STM-16	16 x 9 x 270	2.5 Gbps

Tabla 1.5.- Jerarquía de Velocidades SDH

Hacia los niveles inferiores, SDH ofrece gran número de posibilidades a través de lo que se denominan contenedores. En efecto existe un gran número de posibilidades de integrar canales de distintas velocidades que se introducen en un contenedor al cual se le añaden cabeceras de control, con el destino y un puntero que permite fácilmente reconocerlos y sacarlos de la trama. A continuación se muestran esas posibilidades de integración que como vemos tiene varios niveles y de la que cabe destacar que en una trama STM-1 caben 63 tramas de 2 Mbps que son las tramas usadas en Europa para albergar 30 canales de 64Kbps (E1), lo que nos permite ver que una trama STM-1 tiene capacidad para 1890 canales de 64 Kbps.

#### 1.2.2.4.-Equipos de SDH

##### 1.2.2.4.1.-El multiplexor

La funcionalidad de los equipos multiplexores es agregar un conjunto de señales de entrada para poderlas transmitir por una salida de mayor velocidad. En SDH este es el equipo "estrella" ya que son capaces de agregar y sacar directamente tributarios (canales) de bajo nivel en tramas de alto nivel simplificando así el equipamiento. Además tienen la ventaja de poder agregar tributarios de distinta velocidad con lo que pueden dar respuesta a flexible. Los multiplexores sincronicos se pueden utilizar fundamentalmente en dos configuraciones distintas:

- Configuración punto a punto: Agregan tráfico remoto y facilitan su transporte hacia el punto de interconexión. Su capacidad para aceptar tributarios de distintos niveles lo hacen muy flexible, y capaz para ofrecer soluciones a distintas necesidades (Figura 1.19).

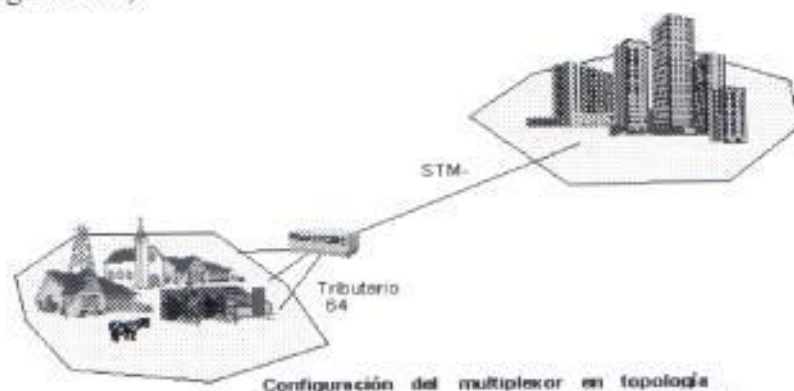
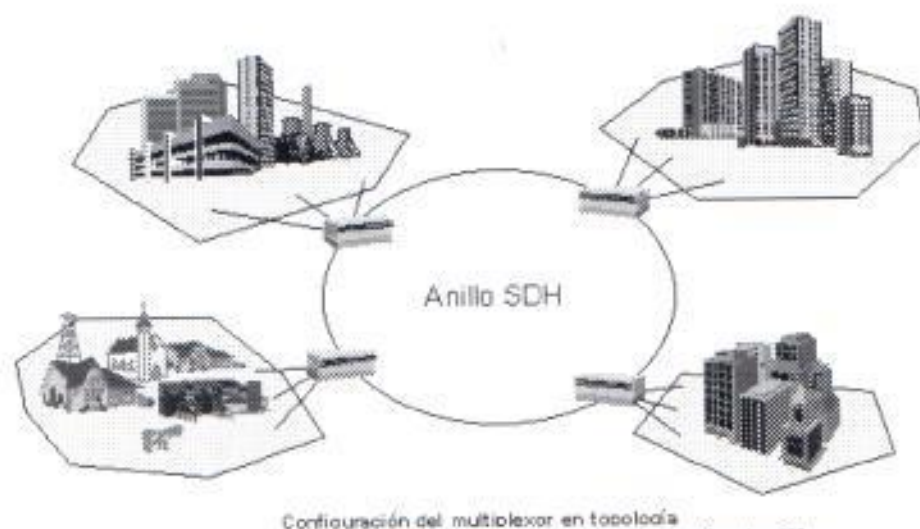


Figura 1.19.- Configuración del multiplexor Punto a punto



Figura 1.20.- Configuración Multiplexor ADM

- Configuración de inserción-extracción (ADM, Add & Drop Multiplexer): En esta configuración (figuras 1.20, 1.21) los multiplexores de SDH proporcionan conectividad entre nodos a lo largo de una ruta, típicamente configurada como un anillo. Cada multiplexor recibe la señal, extrae o agrega tributarios y deja pasar la trama actualizada hacia el siguiente multiplexor. Esta es la configuración más utilizada por su gran flexibilidad y fiabilidad aportada por el anillo.



Configuración del multiplexor en topología Anillo  
**Figura 1.21.- Configuración del multiplexor en Topología Anillo**

#### 1.2.2.4.2.-Los cross-connect

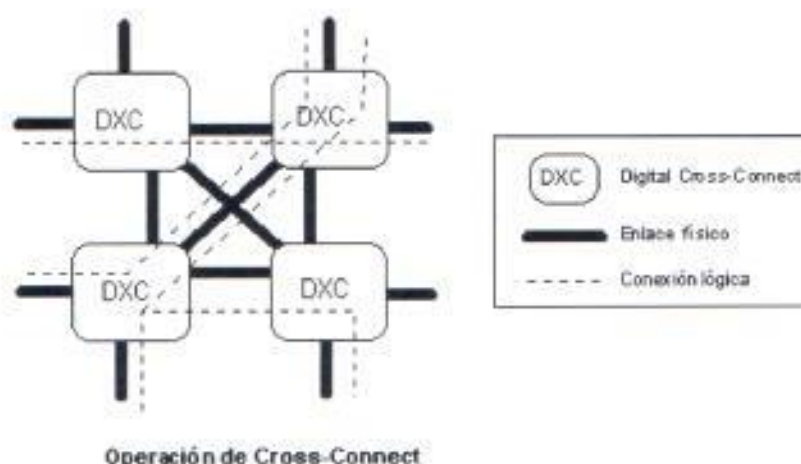
La funcionalidad de estos equipos es establecer conexiones lógicas semi-permanentes entre sus enlaces de entrada y salida sobre las conexiones físicas existentes.

En los sistemas sincrónicos es posible tener esta función de cross-connect distribuida entre distintos elementos de la red sin que haga falta tener un dispositivo concreto para ello. En topología en anillo es típico que esta función la realicen los multiplexores de inserción y extracción (Add-Drop Multiplexers o ADMs). El ADM reconoce qué canales de la trama que le llega por un sentido tiene por destino un tributario suyo y los extrae, dejando pasar el resto del tráfico por la otra fibra (figura 1.22).

#### 1.2.2.5.-Topologías de anillo

Aunque SDH es muy flexible y permite topologías en malla o estrella, la topología más "popular" es sin duda la basada en tendido de anillos. Esto es debido a que permite utilizar las facilidades cross-connect de los multiplexores configurados como ADM lo que permite una gran facilidad para reconfigurar la red y además ofrece una alta fiabilidad gracias a los sistemas de protección y recuperación ante fallos que se pueden implantar.

Los mecanismos de protección que se estudiarán más adelante, son en el caso de los anillos bastantes sencillos y se basan en el hecho de que si una fibra se corta y no se puede transmitir más en un tramo, entonces al llegar el tráfico al último nodo antes de la rotura, el nodo reenvía ese tráfico por otra fibra en dirección contraria y ese tráfico pasa a llamarse tráfico de protección. En función del mecanismo adoptado para transportar el tráfico de protección los anillos se clasifican en unidireccionales y bidireccionales. En los **anillos unidireccionales** todo el tráfico normal viaja por una fibra en un sentido del anillo (p.e. en el de las agujas del reloj) y todo el tráfico de protección se transmite por otra fibra distinta en sentido contrario. En los **anillos bidireccionales** el tráfico normal y el de protección viajan en ambos sentidos.



**Figura 1.22.- Operación Cross- Connect**

A continuación listamos las topologías más frecuentes (figura 1.23):

- Anillo unidireccional de dos fibras: Una fibra transporta el tráfico normal en un sentido y la otra transporta el de protección en el contrario.
- Anillo unidireccional de cuatro fibras: igual pero con dos fibras en cada sentido.
- Anillo bidireccional de dos fibras: Las dos fibras transportan un 50% de tráfico normal y 50 % de protección al mismo tiempo, cada una en un sentido. Tiene la ventaja de que en funcionamiento normal, la transmisión se hace siempre sobre la ruta más corta.
- Anillo bidireccional de cuatro fibras: Igual pero ahora hay una fibra para cada tráfico y cada sentido.



### 1.2.2.6.- Ventajas de la topología en anillo.

La topología en anillo ofrece también la ventaja de poder implementar una red de acceso muy flexible y fácilmente configurable instalando en cada nodo un ADM que meta y saque el tráfico que incumba a los usuarios que tiene conectado, y en conectar en el anillo otro ADM que saque el tráfico del resto de los nodo para llevarlo a una central de conmutación dónde el tráfico vuelva a meterse en el anillo a salga fuera en función del destinatario de la llamada. De esta forma se establecen tantos circuitos como sea necesario entre cada nodo con población y la central de conmutación.

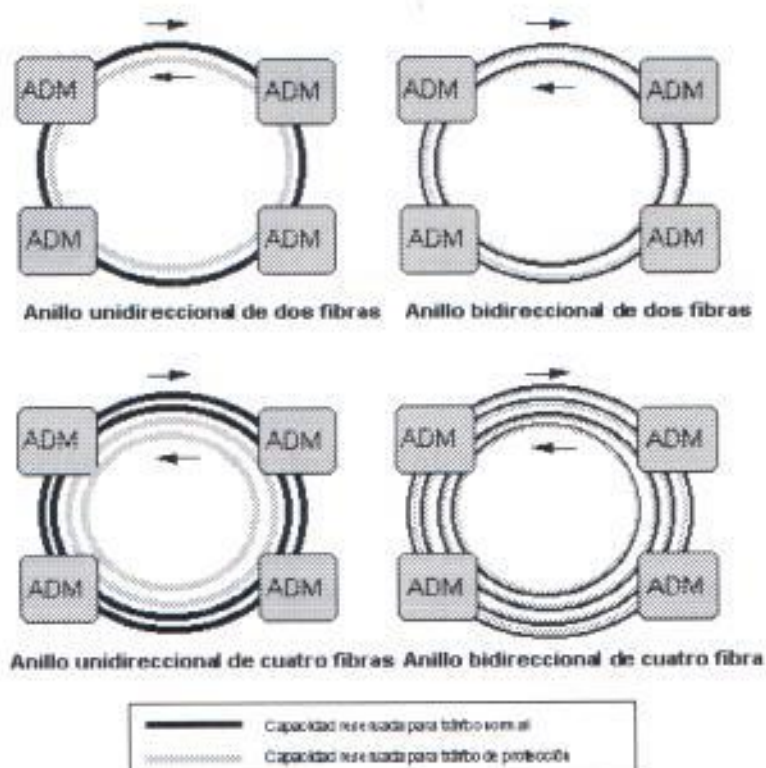


Figura 1.23.- Topologías de anillo

El tráfico de los usuarios entra entonces a través de los nodos secundarios en los anillos secundarios y pasa al anillo primario a través del nodo primario por donde llega hasta la central de conmutación.

Allí será enrutado de vuelta hacia los anillos o hacia fuera de la red dependiendo de quién sea el destinatario del tráfico (en la red o fuera).

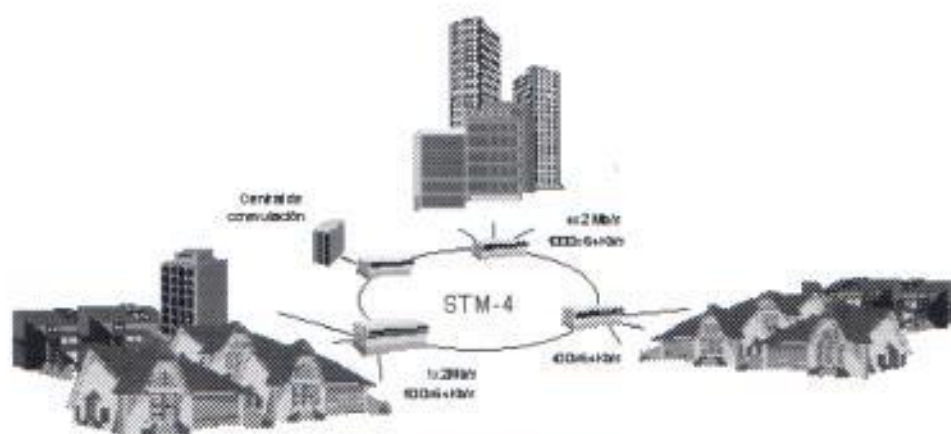
Debe tenerse en cuenta que tanto los nodos secundarios como la central de conmutación, necesitan estar equipados de un ADM mientras que en el nodo primario, son necesarios dos ADMs, uno para cada anillo.

### 1.2.2.7.- Mecanismos de protección

Las topologías de red basadas en anillo facilitan el uso de mecanismos automáticos de recuperación frente a fallos como roturas de fibra o caídas de equipos. El

objetivo de estos mecanismos es que el servicio no quede interrumpido durante el tiempo que transcurre hasta que se solucione la avería.

En este apartado se van a estudiar los dos mecanismos de protección más habituales: protección de la sección de multiplexión y protección de trayecto.



Red de acceso con topología en

Figura 1.24.- Red de acceso con topología en anillo

### 1.2.2.7.1.- Protección de sección de multiplexión

Proporcionan protección extremo a extremo en una sección de multiplexión. Según sea el anillo unidireccional o bidireccional el modo de operación normal será diferente ya que en el caso bidireccional, se utiliza siempre el anillo con la ruta más corta.

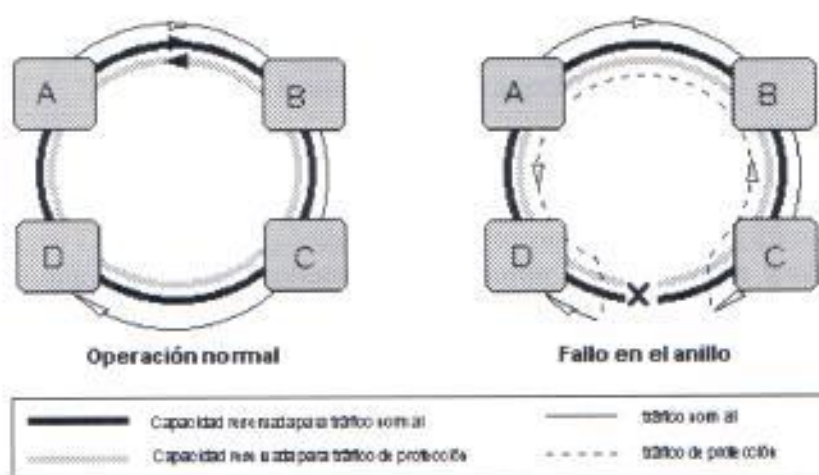


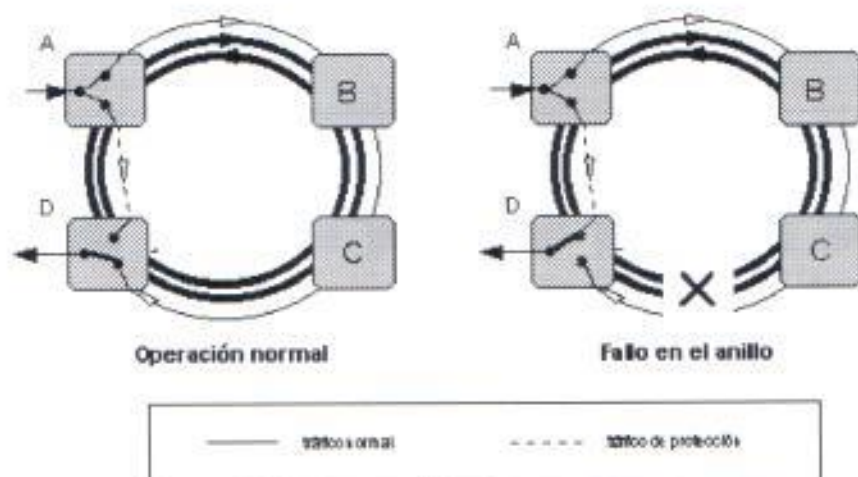
Figura 1.25.- Protección de sección de Multiplexión

Sin embargo, la protección en caso de caída es muy similar: El último nodo en el sentido del tráfico normal antes de la caída, se da cuenta de la caída y reenvía el tráfico en dirección contraria como tráfico de protección hasta que llega al último

nodo en ese sentido que coge lo que le interesa y lo que sobra lo vuelve a meter como tráfico normal. Las siguientes figuras tratan de ilustrar estos mecanismos. El primer caso es el caso unidireccional y el segundo el bidireccional.

### 1.2.2.7.2.- Protección de trayecto

La protección de sección tiene el "inconveniente" de que todo el tráfico está protegido y por lo tanto es necesaria mantener mucha capacidad extra para el tráfico de protección. La protección de trayecto, permite distinguir que tráfico va a ser protegido y cual no. El tráfico protegido se enviará en las dos direcciones (en los dos anillos). El receptor puede así elegir la señal con más calidad y en caso de rotura, siempre llega señal. El tráfico no protegido se envía la mitad en un sentido y la mitad en el otro. En caso de fallo no se perderá más que la mitad de este tráfico no protegido.



Figural.26.- Protección de trayecto

### 1.2.3. DWDM

WDM (Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda orientada a transmitir información a través de *Fibra Óptica*. Dicho proceso permite que diferentes cadenas de información sean transportadas a diferentes longitudes de onda y enviadas todas a la vez por una única *Fibra Óptica*.

Por poner un ejemplo, si queremos transmitir 16 canales a lo largo de 310 millas utilizando métodos tradicionales, necesitaríamos 16 fibras y un total de 144 elementos de regeneración y amplificación de señal. En cambio, esto mismo implementado mediante tecnología WDM, reduciría los dispositivos necesarios a una sola fibra y seis elementos de amplificación, como se muestra en la figura 1.27.

Cuando el número de longitudes de onda que se multiplexan (también conocidas como canales) es superior a 8, esta tecnología se denomina DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Además, los sistemas tradicionales utilizan sistemas optoelectrónicos de amplificación, menos eficientes que los sistemas puramente ópticos utilizados en DWDM.

Esto contrasta con los sistemas convencionales basados en *Fibra Óptica* en los cuales solamente una cadena de información es transportada sobre una ventana de banda estrecha por una única fibra. DWDM se añade a los métodos tradicionales de multiplexación de señales sobre *Fibra Óptica* utilizando luz coherente: Láser. Estas tecnologías son TDM (Time Division Multiplexing) y FDM (Frequency Division Multiplexing). Al contrario de las otras técnicas, WDM suministra cada una de las señales en frecuencias Láser diferentes de tal manera que en la recepción puedan filtrarse ópticamente. TDM y FDM en cambio requieren tratamientos electrónicos de la señal.

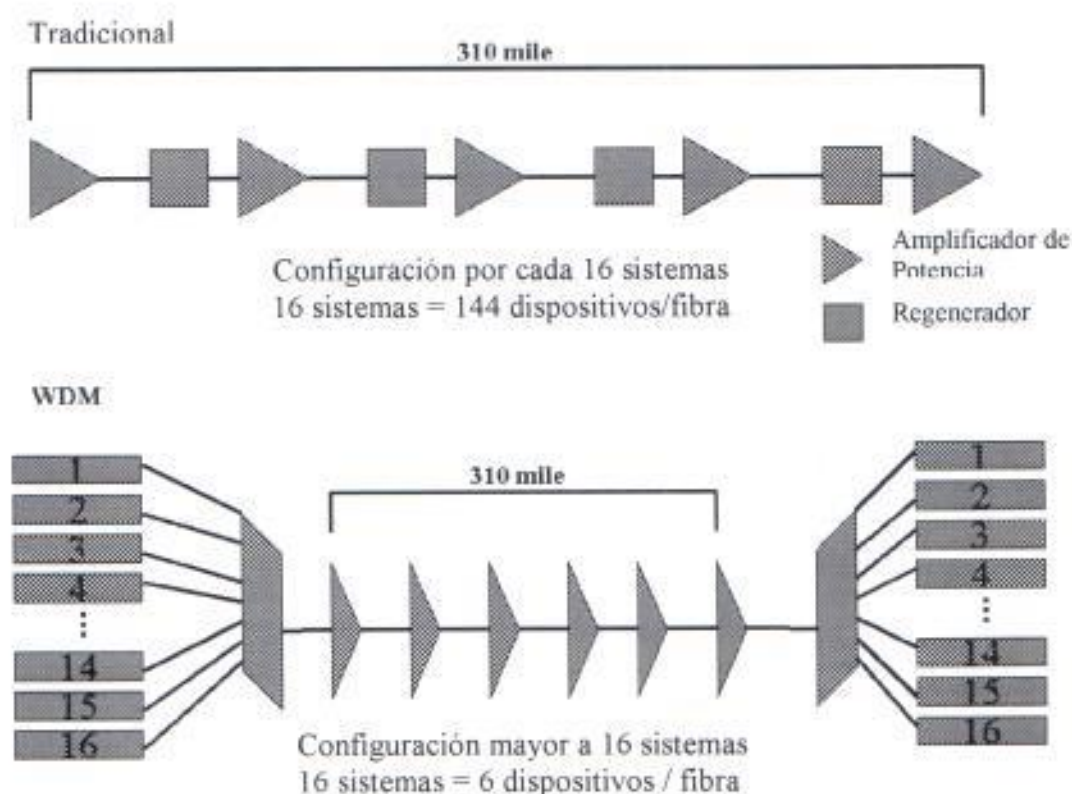


Figura 1.27.- Transporte DWDM

### 1.2.3.1.- Emisores

En DWDM, las señales eléctricas son convertidas en señales ópticas (luz) mediante diodos láser cuya longitud de onda se encuentra dentro de un rango permitido para

poder realizar la multiplexación. Existen dos tipos de DWDM que han sido desarrollados que se diferencian por las distintas longitudes de onda que utilizan. El DWDM convencional está estandarizado internacionalmente por la ITU-T G 692 para utilizar longitudes de onda que van desde 1310 nm hasta 1550 nm donde la distancia entre los distintos canales que ocupan la misma fibra es de entre 0.8 nm (100 GHz) y 1.6 nm (200 GHz). Este rango de longitudes de onda se escoge debido a que dentro de este rango las pérdidas en la *Fibra Óptica* son mínimas, exceptuando el pico de pérdidas existente en 1400 nm debido a las cualidades físicas del material.

Como podemos observar en la figura 28, en un rango de 200 nm, entre 1300 y 1500 nm, la atenuación media es de entre 0.2 dB/Km y 0.5 dB/Km. Ya se han probado sistemas con separación entre canales de 0.4 nm (50 GHz) y 0.2 nm (25 GHz) con resultados satisfactorios.

Así, en función del espaciado entre canales utilizado por DWDM, podemos encontrar sistemas de 4, 8, 16, 32 e incluso 80 canales ópticos, lo que permite alcanzar capacidades de 10, 20, 40, 80 y 200 Gbps que es equivalente a tener una capacidad nominal de 2.5 Gbps por canal. Por ejemplo, para hacernos una idea de lo que esto significa, con un sistema de 16 canales de 2.5 Gbps de capacidad nominal, es posible transmitir 500.000 conversaciones telefónicas simultáneas en una sola fibra.

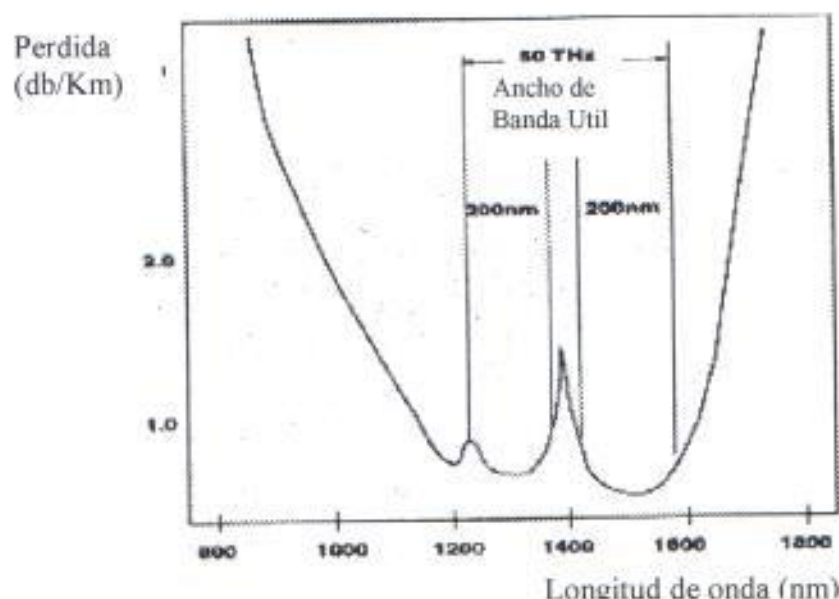


Figura 1.28.- Rango de longitudes de onda de DWDM

### 1.2.3.1.1.- Características de los emisores

Los láseres utilizados en DWDM son prácticamente iguales que los utilizados para comunicaciones de larga distancia, excepto por la necesidad de que algunos requerimientos sean más críticos y la aparición de nuevos requerimientos adicionales:

**Ancho Espectral:** El ancho espectral necesario en DWDM depende del número de canales usados en cada uno de los sistemas a implementar y de la tolerancia de sus componentes, como por ejemplo los demultiplexores. Generalmente, cuanto más estrecho es el ancho espectral, mejor es el láser, pero esto implica mayores costes y menor beneficio.

**Estabilidad de Longitud de Onda:** Generalmente en comunicaciones ópticas, para minimizar los efectos de la dispersión y el ruido de partición de modo, es necesario una estabilidad muy alta. Sin embargo, los sistemas DWDM necesitan minimizar constantemente las variaciones de la longitud de onda. Un cambio de 1 ó 2 nm no tiene porqué perjudicar a un sistema WAN tradicional de un solo canal, pero podría provocar errores en un sistema DWDM.

**Láseres Sintonizables en Longitud de Onda:** La capacidad de sintonización es importante en las redes ópticas. El echo de que la sintonización en el transmisor o el receptor sea rápida es fundamental para el rendimiento del sistema en topologías LAN y WAN.

**Láseres Multi-Longitud de Onda:** Este tipo de láser pueden ser utilizados para implementar una sintonización muy rápida simplemente seleccionando que longitud de onda será transmitida.; aun así, pueden transmitirse simultáneamente varias longitudes de onda.. Están hechos mediante una combinación de láseres de diferentes longitudes de onda, juntos en un mismo sustrato, como se ve en la siguiente figura 1.29.

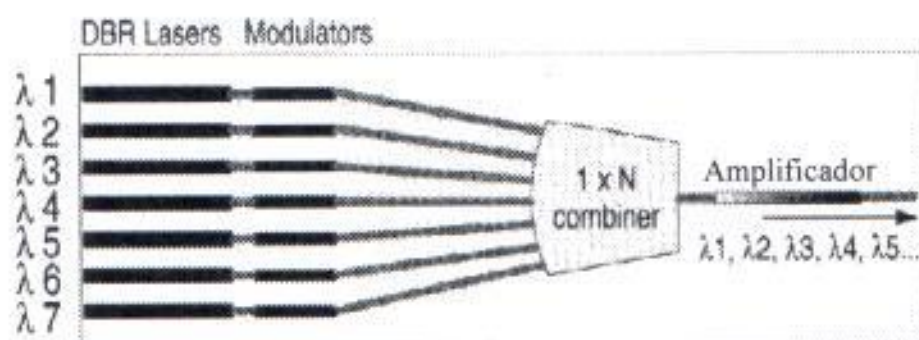


Figura 1.29.- Láser DBR

### 1.2.3.2.- Multiplexores

En DWDM son necesarios dispositivos eficaces para introducir por una única fibra distintas longitudes de onda. Si se utilizan acoplamientos pasivos en la multiplexación las señales de luz perderían gran parte de su fuerza. Por otro lado si se utilizan Littrow Gratings o AWGs (Array Waveguide Gratings) o elementos similares la pérdida se reduce considerablemente. Un típico Littrow grating

comercial combinando 32 canales tiene una pérdida de unos 6 dB por canal (3/4 de cada señal es perdida). Existen AWGs con pérdidas totales de 5 dB para 64 canales.

El escoger unos aparatos u otros depende del sistema que queramos construir. Si un sistema va a utilizar tan solo 4 canales se puede utilizar un acoplamiento. Por otro lado, si queremos un sistema con mayor número de canales, un dispositivo de los mencionados será mucho más adecuado.

### 1.2.3.3.- Repetidores: Amplificación

La tecnología DWDM permite transmisión de información en un rango amplio de distancias entre emisor y receptor. En distancias cortas la atenuación de la fibra (mínima para una longitud de onda de 1550 nm) y la dispersión (mínima para 1300 nm) no representan un gran problema. Sin embargo para largas distancias estos fenómenos son un factor a tener en cuenta por lo que se requiere el uso de amplificadores/repetidores. Para hacernos una idea, en los cables trasatlánticos se colocan repetidores cada 75 km.

Los repetidores convencionales funcionan transformando la señal óptica en eléctrica, amplificando ésta última, y transformándola de nuevo a una señal óptica mediante un diodo Láser para de nuevo inyectarla en la *Fibra Óptica* con mayor potencia que antes. Este proceso es complejo e introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos que son necesarios para ello. Este problema se podría solucionar si todo el camino fuese óptico (*all-optical*).

Esta solución fue llevada a cabo por la Universidad de Southampton mediante repetidores/amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFAs). Estos repetidores evitaba el tener que convertir la señal óptica a eléctrica y viceversa, y evitando así los retardos. El funcionamiento de estos repetidores ópticos se basaba en la posibilidad de amplificar una señal óptica de longitud de onda 1550 nm (figura 1.30) haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud, dopada con iones de erbio, e inyectando en ella una luz Láser de 650µm (fenómeno que se conoce como bombeo), consiguiéndose de esta manera hasta 125dB de ganancia. En la actualidad, los repetidores/amplificadores comerciales utilizan un Láser con una longitud de onda de 980 o 1480µm en lugar de los 650µm originales.

Los amplificadores dopados de erbio tienen un rango de funcionamiento limitado en cuando a la longitud de onda de las señales que procesan:

A la hora de poner muchos amplificadores en cascada hay que tener en cuenta la aparición de varios efectos que pueden distorsionar la señal. Estos efectos son:

- 1.- Ganancia no lineal dinámica de los amplificadores.
- 2.- Generación de fluctuación de potencia.
- 3.- Ruido introducido por los amplificadores.

#### 4.- Dependencia de efectos de polarización.

De todos estos efectos sólo los tres primeros son realmente significativos. El cuarto efecto solamente es importante en sistemas con un alto número de amplificadores.

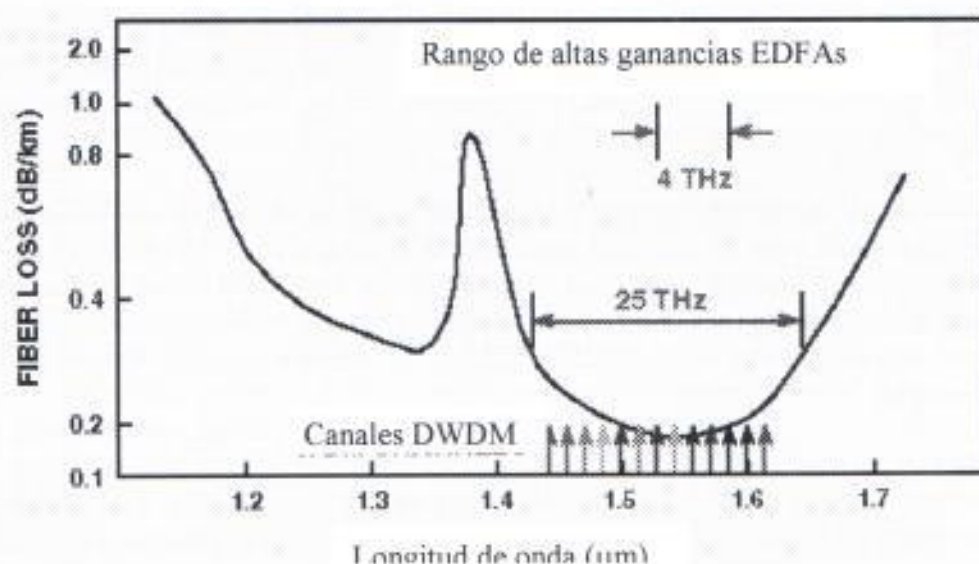


Figura 1.30.- Rango de altas Ganancias para amplificadores EDFA

El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción que aumenta el número de canales por una sola fibra, lo que aumenta la fiabilidad del sistema y su complejidad.

Debido a la alta potencia de los amplificadores DWDM y su bajo nivel de ruido, se pueden transmitir hasta 32 canales independientes de 2.5 Gbps cada uno, a lo largo de distancias de hasta 600 Km sin necesidad de utilizar repetidores.

#### 1.2.3.3.1.- Tipos de Amplificadores

Existen tres tipos básicos de EDFAs:

**Amplificadores de Potencia:** Son colocados justo después de la etapa de multiplexado, a la salida del sistema transmisor. La limitación de estos amplificadores es por lo general la potencia total de salida.

**Amplificadores de Línea:** Reciben un nivel relativo de señal bajo y deben amplificarlo por el mayor número de dB posible. La limitaciones de estos amplificadores son la ganancia, el ruido que introducen y potencia total de salida.

**PreAmplificadores:** Estos amplificadores han de ser bastante sensibles, deben tener un bajo nivel de ruido y una ganancia aceptablemente alta debido a que generalmente no necesitan una señal de alta potencia a la salida. Una salida de  $-20$  Db/m por canal es normalmente una potencia de salida suficiente.



### 1.2.3.4.- Interconexión

Hasta ahora hemos conseguido establecer las bases para establecer una conexión DWDM punto a punto. Sin embargo, aún no hemos asentado los principios tecnológicos para crear redes más generales basadas en DWDM. Necesitamos pues algún tipo de elemento de interconexión que nos permita hacer estas redes. Estos elementos de interconexión se depositan en tres categorías: *Estrella Pasiva*, *Router Pasivo*, *Switch de División de Espacio*, *Switch Activo* y *Multiplexores Add-Drop*.

**1.- Estrella Pasiva:** Este es un elemento utilizado para el *broadcast*, de tal manera que una señal es introducida en una determinada longitud de onda desde una fibra de entrada y su potencia será dividida entre todos los puertos de salida de la Estrella. Todas las señales de salida tendrán igual forma y longitud de onda que la señal de entrada, diferenciándose, eso sí, en la potencia, que será mucho menor. Las colisiones tan sólo podrán ocurrir cuando dos o más señales de igual longitud de onda sean introducidas como entrada.

Si tenemos una Estrella con tantas longitudes de onda como puertos de *Fibra Óptica*, una Estrella Pasiva de  $N \times N$  puede direccionar hasta  $N$  conexiones simultáneas a través de sí.

**2.- Router Pasivo:** Un Router Pasivo puede encaminar de forma independiente varias señales de entrada a distinta longitud de onda (por su puesto, si no son de distinta longitud de onda ocurrirán colisiones) hacia varios puertos de salida. Para hacer esto, primero necesita demultiplexar las distintas longitudes de onda. Una vez echo esto, multiplexa las señales deseadas es cada uno de los puertos de salida. Por ejemplo, podemos hacer que tres señales de longitud de onda  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$  respectivamente incidentes en el puerto 1 de entrada sean enviadas en las mismas longitudes de onda a los puertos de salida 1, 2 y 3 respectivamente.

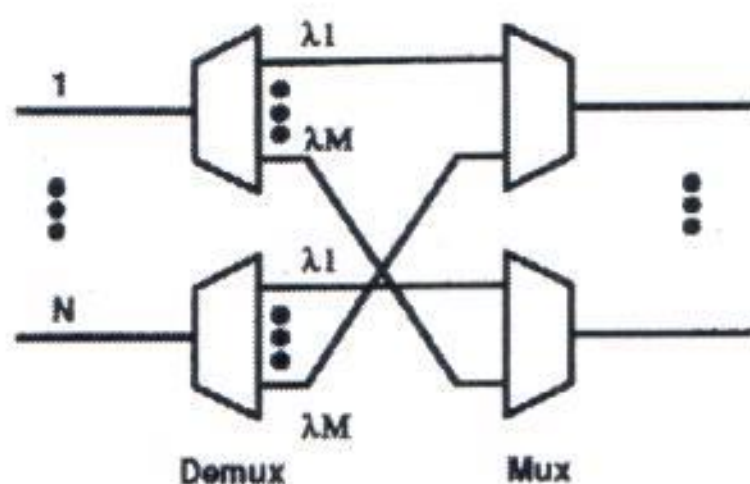


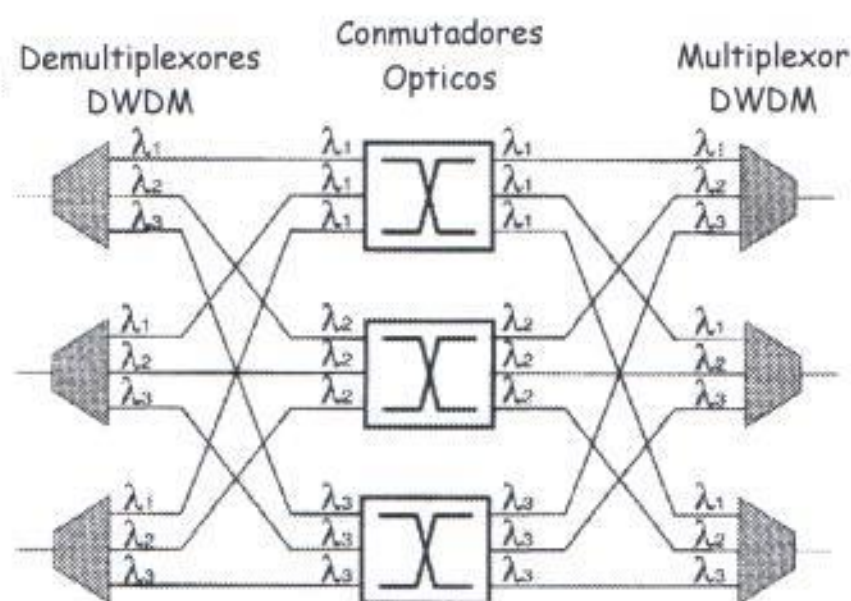
Figura 1.31.- Router Pasivo

La manera más sencilla de construir estos *routers* es mediante multiplexores y demultiplexores colocados de forma consecutiva y estableciendo las conexiones a nuestra conveniencia, según se muestra en la figura 1.31

La elección de encaminar las señales de entrada a un puerto de salida u otro se realiza de forma pasiva (de ahí router pasivo), es decir se establecen internamente las conexiones y no pueden ser alteradas dinámicamente.

De la misma forma que antes, suponiendo que tenemos tantas longitudes de onda como puertos de fibra, un Router Pasivo de  $N \times N$  puede direccionar hasta  $N^2$  conexiones simultáneas a través de sí. Sin embargo, un Router Pasivo no tiene la posibilidad de emitir en *broadcast*. Estos Routers están siendo ya comercializados y se conocen también como Latin Routers, Waveguide Grating Routers (WGRs), Wavelength Routers (WRs), etc.

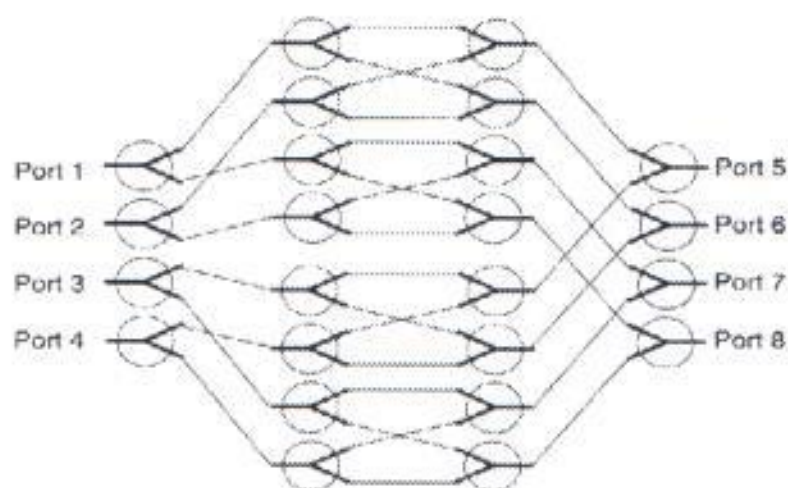
**3.- Switch de División de Espacio:** Este dispositivo está diseñado para permitir que cualquier puerto de entrada pueda ser conectado a cualquier puerto de salida. Están fabricados con sencillos Interruptores Ópticos Digitales como se muestra en la figura 1.32.



**Figura 1.32.- Switch de división de espacio**

Solamente una longitud de onda está presente en cualquier fibra de entrada. Esta debe ser multiplexada antes de introducirla en las entradas de la misma forma que explicamos en el apartado anterior. Este aparato es bidireccional, con lo que cuando los dos puertos (de salida y de entrada) están conectados, pueden ser utilizados en ambas direcciones. Los Interruptores Ópticos Digitales pueden ser sustituidos por conectores en cruz como se muestra en la figura 1.33.

Estos elementos no son sensibles a la longitud de onda y cambian de un puerto a otro sin tenerlas en cuenta.

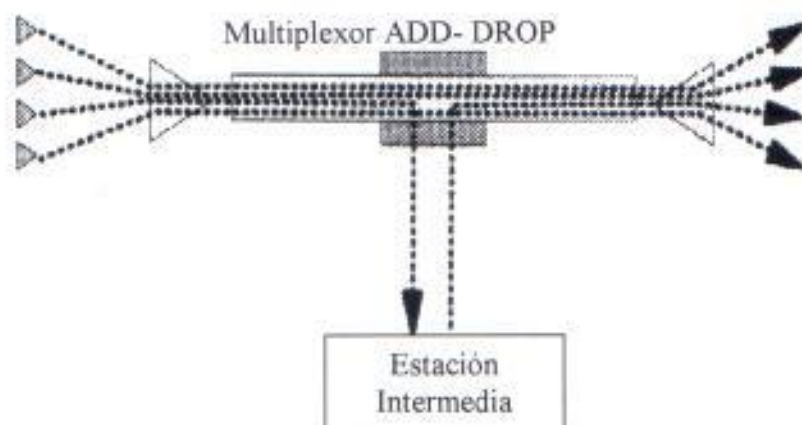


**Figura 1.33.- Switch de división de espacio con conectores en cruz**

**Switch Activo:** Añadiendo una serie de *Switches de División de Espacio* al *router pasivo*, conseguimos que las interconexiones entre los puertos de entrada y salida puedan ser reconfigurados electrónicamente.

Si utilizamos conectores en cruz en lugar de estos, esta reconfiguración puede ser llevada a acabo por un ordenador.

**Multiplexores Add-Drop:** Estos multiplexores permiten añadir o retirar un único canal de una multiplexación de canales DWDM sin interferir sobre dichos canales. La idea básica se muestra en la figura 1.34



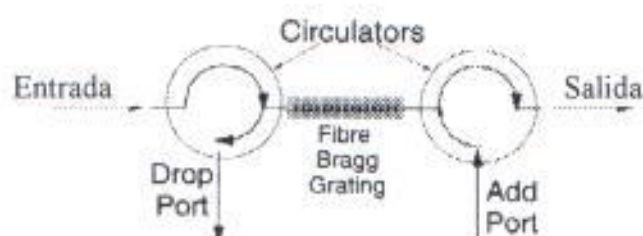
**Figura 1.34.- Multiplexor Add-Drop**

Mediante este esquema permitimos que estaciones intermedias sean capaces de recoger información de una red, sin que el resto de los canales se vean afectados (sería muy sencillo implementar distintas redes como Ethernet o incluso Token Ring).

Existen distintos métodos para construir los *multiplexores Add-Drop*, entre ellos se pueden destacar: *Array de Gratings de Longitudes de Onda*, *Circuladores con FDBs (Fiber Bragg Gratings)* y *Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder*. Las características de estos tres métodos las explicamos a continuación:

**Array de Gratings de Longitudes de Onda:** Además de las características ya mencionadas de los *multiplexores Add-Drop* genéricos, este sistema permite añadir o retirar más de una longitud de onda a la vez. Por otra parte, las pérdidas de señal por cada canal añadido o eliminado son de 5 dB y de 10dB por cada canal que deja pasar. Este sistema necesita ecualización para que todas las señales tengan la misma potencia.

**Circuladores con FDBs (Fiber Bragg Gratings):** El esquema de este tipo de multiplexores se muestra justo a continuación (figura 1.35):



**Figura 1.35.- Circuladores con FDB**

En este caso, el canal añadido tiene que tener la misma potencia que el que se acaba de retirar. Esta configuración tiene una pérdida de señal de 3 dB y es apropiado para redes MAN donde muchos nodos están conectados por un bucle de fibra única.

**Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder:** Este tipo de multiplexores está en proceso de desarrollo por IBM Research. En ellos la longitud de onda que queremos retirar se tiene que sustituir por otra que queramos añadir. El problema de este método es el gran tamaño de los dispositivos (30-40 cm de largo) lo que dificulta su implementación mediante *tecnología plana*.

Los multiplexores DWDM *Add-Drop* y los conectores en cruz DWDM establecen las bases de las redes de *multiplexación en longitud de onda*. Con ellos, las redes ópticas pueden ser reconfiguradas para optimizar el tráfico, congestión, crecimiento de las redes, etc. A medida que dichas redes van creciendo, las longitudes de onda accesibles son limitadas. Esto lleva a introducir elementos ópticos de interconexión con conversión de longitud de onda.

### 1.2.3.5.- Conversores de Longitud de Onda

Cuando una red es escalada a un tamaño considerable, la distribuciones de longitudes de onda únicas es muy difícil o incluso imposible. A pesar de haber una cantidad muy elevada de longitudes de onda, sólo algunas de ellas son accesibles en la práctica. Una red podría, por ejemplo, disponer de muchos canales libres en cada uno de sus enlaces, y sin embargo que ninguna longitud de onda estuviera disponible para comunicar dos terminales.

Imaginemos que sólo existen dos canales en todos los enlaces de la red (a longitudes de onda  $\lambda$  y  $\lambda_1$ ) y que las terminales A y B están manteniendo una comunicación como la indicada a la figura, a la longitud de onda indicada. Imaginemos ahora que D quiere establecer una comunicación con C, a una longitud de onda  $\lambda_1$ . Pues bien, con lo que sabemos hasta este momento, no podríamos establecer tal comunicación, a pesar de tener un canal libre en el enlace entre los nodos  $N_1$  y  $N_2$  al terminal C, debido a que ocurriría una colisión.

Por ello se introduce el concepto de conversor de longitud de onda. Si nosotros consiguiésemos, de alguna manera, convertir una señal con una longitud de onda dada en otra que transporte la misma información, pero con distinta longitud de onda, conseguiríamos resolver el problema. Esta idea está aún bajo investigación, pero existen principios que indican que es posible. Estos principios escapan del nivel de este trabajo y no los estudiaremos en mayor profundidad que su mención.

### 1.2.3.6.- Recepción: Demultiplexores

Aunque ya introdujimos la demultiplexación en el apartado de interconexión, pasaremos a verlo a mayor profundidad. Para la recepción de las señales ópticas es necesario el uso de filtros ópticos que permitan seleccionar (demultiplexar) la longitud de onda que nos interesa. Son el equivalente a un filtro paso banda de un sintonizador de radio. Por otro lado debe existir en la recepción fotodetectores que conviertan la señal óptica, una vez filtrada, en eléctrica.

### 1.2.3.7.- Redes DWDM

Las primeras redes ópticas que se hicieron eran por lo general redes basadas en el *broadcast*, utilizando fundamentalmente las *estrellas pasivas*. Los usuarios de estas redes transmitían sus señales al acoplador en *estrella* y éste la distribuía de forma pasiva entre todos los demás nodos de la red

Los usuarios a los que fuese destinada la información (identificable mediante las direcciones de destino propias del protocolo utilizado, e independiente de DWDM), aceptaban o no esta información mediante las técnicas de demultiplexación que comentamos en apartados anteriores. Los terminales podían elegir la longitud de onda en las que emitían de forma estática o dinámica. Los retardos de propagación no permitían que fueran usadas, por lo general, por redes MAN y WAN, mientras

que resultaban útiles, pero costosas, para redes LAN y pequeñas MAN. Las primeras redes constaban de 16 a 32 nodos generalmente.

A medida que pasaba el tiempo, y los descubrimientos tecnológicos lo permitían, se empezaron a utilizar multiplexores *Add-Drop* para construir las redes. La estructura de un típico ADM (*Add-Drop Multiplexor*) Ring es el que se muestra en la figura 1.34.

Todos los nodos de la red están conectados por dos enlaces bidireccionales, lo que permite una operación continua en caso de que uno de los anillos se rompa. Cada elemento ADM atenúa la señal WDM de 2 a 6 dB. En grandes WANs utilizando redes ADM las señales son ecualizadas y amplificadas en cada bloque ADM. El control de este tipo de multiplexado puede ser dinámico para que así los usuarios puedan decidir que señales introducir y que señales sacar de la red en cada momento.

### 1.2.3.8.- Aplicaciones de DWDM

El principal uso de DWDM en el presente es reemplazar sistemas que operan basándose en otras tecnologías de transmisión sobre *Fibra Óptica*. Hoy en día ese requieren la instalación de redes de comunicación cada vez más rápidas y con más ancho de banda. Son muchas las redes que incorporan *Fibra Óptica* en su infraestructura y que por tanto pueden beneficiarse de la tecnología DWDM. Esta tecnología es aplicable tanto a largas como a cortas distancias y tiene la ventaja de que no es necesario, la mayor parte de las veces, el sustituir la fibra ya existente. El uso de DWDM permite dotar a la fibra ya instalada de más capacidad casi de manera inmediata. Esta característica es muy valorada por los múltiples usuarios que cada vez requieren más ancho de banda y más velocidad en sus comunicaciones debido a la aparición de medios de comunicación como Internet (Páginas WEB, Correo Electrónico, Videoconferencia, Televisión por cable, Multimedia, etc...)

Por otro lado los proveedores de servicios pueden ofrecer sin dificultad cualquier tipo de tráfico de voz, datos y/o multimedia sobre protocolos como IP ó ATM con transmisión síncrona SDH o SONET, todo esto por supuesto sobre *Fibra Óptica*.

En 1998 el uso más extendido de DWDM fue en sistemas punto a punto para larga distancia. Pero es previsible que esta tecnología será utilizada en un futuro próximo en redes locales LAN y en entornos de mayor tamaño MAN y WAN. Otra aplicación útil de DWDM es la construcción de anillos ópticos que permiten monitorizar el resultado del envío al transmitirse la misma información en dos longitudes de onda distintas, por lo que es muy sencilla la detección de errores de transmisión.

### 1.2.3.9.- Ventajas e inconvenientes de DWDM

Hoy en día, a la hora de crear una nuevo tendido de cable puede resultar más cara la infraestructura que el propio cable. Por ello muchas veces es más rentable el aumentar la capacidad de las líneas ya existentes que el añadir más líneas y nuevas

redes al conjunto original. Actualmente, el método tradicional para incrementar la velocidad de transferencia es la multiplexación TDM, aunque presenta el problema de los saltos en la capacidad del sistema ya que pasar de un nivel a otro requiere hacerlo de golpe, con lo que puede resultar excesivo.

Así, en el caso de la *Fibra Óptica*, DWDM juega un importante papel en este campo ya que permite aumentar la capacidad de líneas ya existentes de una manera progresiva y eficiente. Las ventajas de DWDM no sólo se encuentran en el incremento de la capacidad. Debido a que como los componentes ópticos son simples pueden ser menos costosos y más fiables que los sistemas electrónicos equivalentes. Además, DWDM tiene otra ventaja añadida sobre la multiplexación sobre la TDM convencional (que ha dominado las redes públicas desde los años 70); esta ventaja es que tiene una capacidad inherente para la utilización de ADM (Add Drop Multiplexing).

Como ya se menciona en puntos anteriores, otra ventaja de DWDM es que la mayor parte de las redes existentes de *Fibra Óptica* soportan su utilización sin la necesidad de cambiar nada. Aunque los componentes son caros, las soluciones que utilizan DWDM suelen ser más baratas que otras. Aun así no todos los tipos de fibra admiten la tecnología DWDM, debido a las tolerancias y ajustes de los láseres y filtros son muy críticos. Por otra parte presentan el problema de la normalización, inexistente hasta la fecha, ya que no se garantiza la compatibilidad entre los equipos. Centrándonos en los costes que conlleva la utilización de DWDM, existen muchas incógnitas al respecto.

## Capítulo II Fibras Ópticas

### 2.1 Conceptos de Fibras Ópticas.

#### 2.1.1.- Principios Físicos y Químicos

##### 2.1.1.1.-El espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es Utilizado desde hace mucho tiempo para la transmisión de información. Su utilidad se debe a que para propagarse no requieren necesariamente , de un conductor metálico sin que puedan hacerlo con elevada velocidad, tanto en el vacío como en un medio dieléctrico, o sea un material no conductor.

Una reseña del espectro electromagnético y su utilización. La luz visible solamente ocupa una reducida zona que va desde los 380nm. (violeta) hasta los 780nm. (rojo). A la misma se le añade la zona de radiación ultravioleta , con longitudes de onda menores y la zona de radiación infrarroja, con longitudes de onda mayores.

En las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda del infrarrojo cercano o sea de 800 a 1600nm., siendo los valores preferidos los de 850, 1300 y 1550nm.

En el vacío las ondas electromagnéticas se propagan con la velocidad de la luz:

$$C_0 = 299792.456 \text{ Km./s.}$$

Para la propagación en el aire se puede tomar con suficiente aproximación el valor redondo de :

$$C_0 = 300000 \text{ Km./s.} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.} = 3 \cdot 10^5 \text{ Km./s.}$$

La onda electromagnética y por ende la luminosa es una onda transversal en un medio sin pérdidas e infinitamente extendido. Su campo eléctrico y magnético oscila perpendicularmente a la dirección de propagación.

Si el campo eléctrico o el campo magnético oscilan en un plano, el extremo del vector intensidad de campo eléctrico o magnético describe una línea recta. De una onda de este tipo se dice que está polarizada linealmente. Si el extremo del vector describe una circunferencia o, en general, una elipse se habla de luz con polarización circular o elíptica.

##### 2.1.1.2.-Conceptos básicos de las ondas

Como general se considera a una onda como la propagación de un estado o una excitación en una sustancia, sin que ello implique la necesidad de transportar la propia masa o materia de esa sustancia. En el caso de onda luminosa, el estado es el



campo electromagnético que se propaga en una sustancia transparente, el medio óptico.

La forma más simple de describir esta variación en el tiempo y el espacio es por medio de una función senoidal. Así para el valor instantáneo  $a$  de una onda plana que se propaga según el eje  $z$  vale :

$$a = A \operatorname{sen}(\omega t - kz) = A \operatorname{sen} 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right)$$

$a$  : valor instantáneo de la onda plana

$A$  : amplitud

$\omega$  : velocidad angular en  $s^{-1}$

$t$  : tiempo , en s.

$k$  : índice de la longitud de onda

$z$  : distancia sobre el eje  $z$ , en m.

$T$  : periodo, en s.

$\lambda$  : longitud de onda, en m.

Con la amplitud de la onda se describe la mayor elongación fuera de su posición de reposo.

El valor entre paréntesis  $(\omega t - kz)$  se denomina ángulo de fase de la onda o en forma abreviada fase de la onda. Este ángulo de fase  $\phi$  se mide en radianes (rad)

$$1 \text{ rad} = \frac{360}{2\pi} = 57.295^\circ$$

Al valor  $\omega$  se lo denomina velocidad angular y vale  $2\pi$  veces la frecuencia  $f$ , con lo cual se indica el número de oscilaciones por unidad de tiempo . O sea :

$$\omega = 2\pi * f$$

$f$  : frecuencia en Hertz (Hz.)

El tiempo en el que transcurre una oscilación completa se denomina periodo  $T$  de la oscilación. La frecuencia es inversamente proporcional al periodo  $T$  o sea :

$$f = \frac{1}{T}$$

$T$  : periodo , en s

Con  $k$  se designa el índice de la longitud de onda que es igual al valor absoluto del vector de onda  $k$  que indica la dirección de propagación de la onda. Este índice indica el desfase de la onda por unidad de longitud y por lo tanto es inversamente proporcional , con el factor  $2\pi$ , a la longitud de onda

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

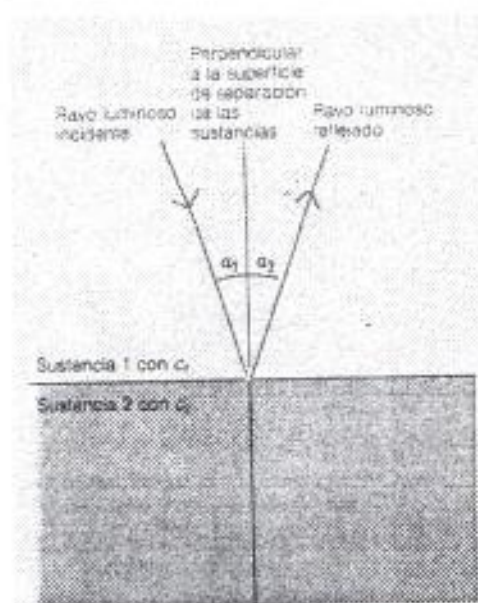
La longitud de onda  $\lambda$  es el período espacial de dicha onda o sea la distancia o el camino de una oscilación completa.

La relación básica entre la frecuencia  $f$ , la longitud de onda y la velocidad de propagación de una onda es :

$$c = f * \lambda$$

### 2.1.1.3.-Reflexión

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación entre dos sustancias, una fracción de la misma se refleja. La proporción de la luz reflejada es función del ángulo  $\alpha_1$  que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación. Por rayo de luz se entiende aquí a la trayectoria dentro de la cual se extiende la energía luminosa. Para el rayo luminoso reflejado y el ángulo  $\alpha_2$  que éste forma con la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias vale (ver figura 2.1) :



**Figura 2.1.- Reflexión de la luz**

El rayo reflejado

- Se mantiene en el plano formado por el rayo luminoso incidente y la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias.
- Se halla en el semiplano opuesto (en relación con el rayo luminoso incidente a la perpendicular) a la superficie de separación de las sustancias.
- Tiene los ángulos de incidencia y reflexión iguales.

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

#### 2.1.1.4.-Refracción

Si un rayo luminoso incide con un ángulo  $\alpha$  de modo oblicuo desde una sustancia ópticamente menos densa (por ejemplo aire) a otra mas densa (por ejemplo vidrio o agua), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción  $\beta$ .

Para una sustancia isotrópica, o sea un medio material que presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones, vale la *ley de refracción de Snell*:

El cociente entre el seno del ángulo de incidencia  $\alpha$  y el seno del ángulo de refracción  $\beta$  es constante e igual a la relación de las velocidades de la luz  $c_1/c_2$  en ambas sustancias (figura 2.2).

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

$\alpha$  : ángulo de incidencia.

$\beta$  : ángulo de refracción.

$c_1$  : velocidad de la luz en la sustancia 1

$c_2$  : velocidad de la luz en la sustancia 2

De dos sustancias transparentes, se considera más densa a aquella que posee la menor velocidad de propagación de la luz.

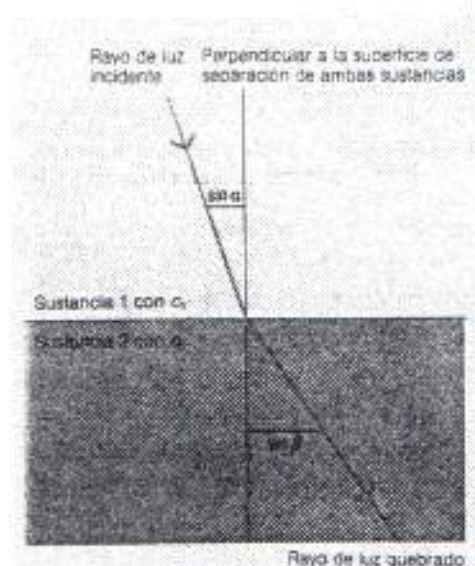


Figura 2.2.- Refracción de la luz

Considerando la transición desde el vacío ( $\approx$  aire) en el cual la velocidad de la luz es  $c_0$ , a una sustancia con velocidad de la luz  $c$ , se obtiene:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{c_0}{c} = n$$

La relación entre la velocidad de la luz en el vacío  $c_0$  y de la sustancia  $c$ , se denomina *índice de refracción*  $n$  (o más exactamente índice de refracción entre dos fases) de esta sustancia y es una constante material de la misma. El índice de refracción del vacío ( $\approx$  aire) es igual a 1.

Para dos sustancias diferentes con los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  y las correspondientes velocidades de la luz  $c_1$  y  $c_2$  vale:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \quad \text{y} \quad c_2 = \frac{c_0}{n_2}$$

De donde se obtiene otra expresión de la Ley de Refracción de Snell

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

La relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es inversamente proporcional a la respectiva relación de los índices de refracción.

El índice de refracción de una sustancia depende fundamentalmente de la correspondiente longitud de onda de la luz; en el caso del vidrio de cuarzo y las longitudes de onda del infrarrojo, de gran importancia para las comunicaciones ópticas, este índice decrece continuamente cuando se incrementa la longitud de onda.

La magnitud  $n$  vale para ondas luminosas que se propagan solamente con una única longitud de onda y con amplitud constante. En estas condiciones las ondas no pueden transmitir informaciones, lo cual se logra sólo cuando se aplica modulación a las mismas. En las comunicaciones ópticas (digitales) la modulación se efectúa por medio de pulsos luminosos. Se trata de grupos de onda de corta duración que contienen ondas luminosas de diferentes longitudes.

Las diferentes ondas integrantes de estos grupos no se propagan con la misma velocidad ya que sus longitudes de onda difieren entre sí. La velocidad de propagación de un grupo de ondas se denomina velocidad de grupo, para la cual se define el índice de refracción del grupo  $n_g$ , por medio de la relación:

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Las variaciones de  $n$  y  $n_g$  en función de la longitud de onda luminosa  $\lambda$  para vidrio de cuarzo se observan en la figura .

La expresión  $\frac{dn}{d\lambda}$  indica la pendiente de la curva de los índices de refracción  $n(\lambda)$ , la cual es decreciente (negativa) en la gama de las longitudes de onda considerada. En virtud de ello el índice de refracción de grupo  $n_g$  es, para cada longitud de onda, mayor que el índice de refracción  $n$ . Para calcular los tiempos de propagación de señales ópticas se debe utilizar únicamente el índice de refracción de grupo  $n_g$ .

Cabe destacar que el índice de refracción del grupo presenta un mínimo en las cercanías de los 1300 nm. De longitud de onda. Como se ha descrito precedentemente, esta longitud de onda tiene un interés muy especial para la transmisión por medio de conductores de fibra óptica.

### 2.1.1.5.-Reflexión total.

Cuando el rayo luminoso (3) incide con ángulo  $\alpha$  cada vez mayor desde una sustancia ópticamente mas densa con un índice de refracción  $n_1$  sobre la superficie de separación con una sustancia ópticamente menos densa con índice de refracción  $n_2$ , el ángulo de refracción  $\beta$  al llegar a un determinado ángulo de incidencia  $\alpha$  puede llegar a ser igual a  $90^\circ$  (ver figura 2.3).

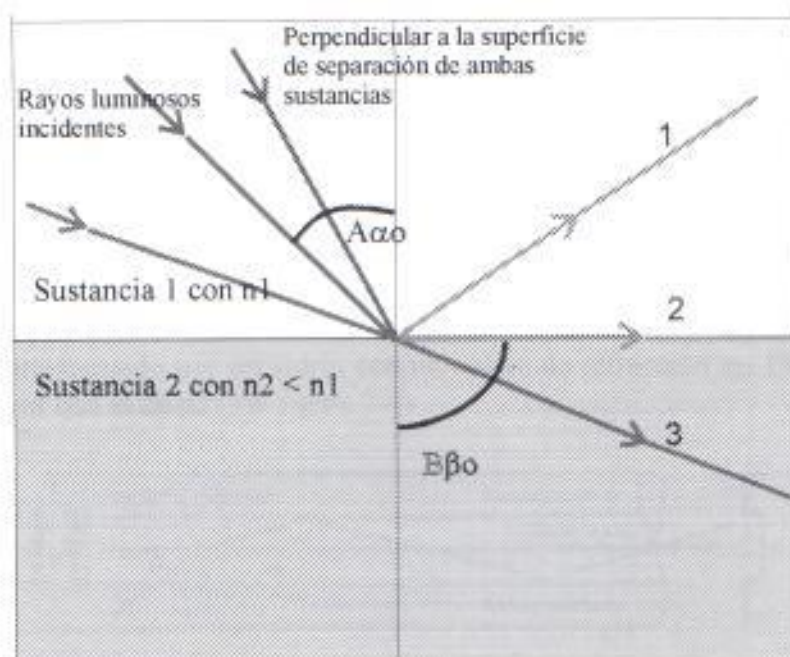


Figura 2.3.- Reflexión total de la luz

Donde:

- 1.- Rayo luminoso con reflexión total
- 2.- Rayo luminoso quebrado con ángulo de reflexión  $\theta_0 = 90^\circ$
- 3.- Rayo luminoso quebrado

En este caso el rayo luminoso (2) se propaga paralelamente a la superficie de separación de ambas sustancias y el ángulo de incidencia  $\alpha_0$  se denomina ángulo límite de las dos sustancias.

Para el ángulo límite  $\alpha_0$  vale de la relación:

$$\text{Sen } \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

O sea el ángulo límite es función de la relación de los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  de ambas sustancias.

Todos los rayos que inciden con un ángulo  $\alpha$  mayor que el ángulo límite  $\alpha_0$  son reflejados en la superficie que separa ambas sustancias, o sea no se propagan en la sustancia menos densa sino en la más densa.

Este fenómeno se denomina *reflexión total* (rayo luminoso 1).

La reflexión total puede ocurrir únicamente cuando un rayo luminoso incide desde una sustancia ópticamente más densa (por ejemplo el vidrio con  $n_1 = 1,5$ ) sobre otra ópticamente menos densa (por ejemplo el aire con  $n_0 = 1$ ) y nunca se da en el caso inverso.

### 2.1.1.6.-Apertura numérica

En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso en virtud de tener estos conductores en su centro un núcleo formado por un vidrio con un índice de refracción  $n_1$  y envolviéndolo, un recubrimiento formado por un vidrio con un índice de refracción  $n_2$ . El valor de  $n_1$  es algo mayor que el de  $n_2$  (ver figura 2.4).

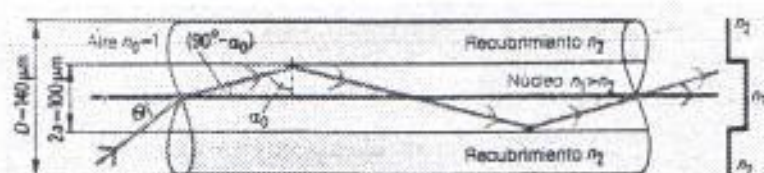


Figura 2.4.- Conducción de la luz en un conductor de fibra óptica.

Analizando la expresión  $\text{sen } \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_0$  se concluye que todos los rayos

luminosos que incidan con un ángulo menor que  $(90^\circ - \alpha_0)$  con respecto al eje de la fibra óptica son conducidos en el núcleo.

Para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior de la fibra (aire con  $n_0 = 1$ ), el ángulo (entre el rayo luminoso y el eje de la fibra) se rige de acuerdo a la ley de refracción.

$$\text{Sen } \theta = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

El máximo ángulo de acoplamiento  $\theta_{\max}$  se denomina ángulo de aceptación del conductor de fibra óptica y es únicamente función de los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ . Al seno del ángulo de acotación se lo denomina apertura numérica (AN) del conductor de fibra óptica.

$$\text{AN} = \text{sen } \theta_{\max}$$

Este valor es de gran importancia para el acoplamiento de la luz a los conductores de fibra óptica.

### 2.1.1.7.-Propagación de la luz en el conductor de fibra óptica

Las leyes de la óptica permiten describir la reflexión total de la luz en la superficie que separa al núcleo del recubrimiento en un conductor de fibra óptica. Para ello se considera básicamente que la luz se propaga en forma de rayos rectilíneos. Para efectuar un análisis más detallado de las diferentes posibilidades de propagación de la luz dentro del núcleo, es necesario considerar los fenómenos de la óptica ondulatoria dado que el diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica se halla típicamente entre los 10 y 100  $\mu\text{m}$  o sea que es solamente un poco mayor que la longitud de onda de la luz transmitida por ese núcleo (aprox. 1  $\mu\text{m}$ ). debido a esta relación de dimensiones ocurren fenómenos de interferencia que solo pueden describir con ayuda de la óptica ondulatoria.

En general se denomina interferencia a la superposición de dos o más ondas y su combinación para formar una onda única. Una manifestación típica de la interferencia de dos ondas se obtiene cuando ambas tienen la misma longitud de onda y existe una diferencia de fase constante entre ambas en el tiempo. Este tipo de ondas se denominan ondas coherentes. Si en determinado punto del espacio ambas ondas presentan una diferencia de fase igual a un múltiplo entero de  $\lambda$  (longitud de onda), se produce una suma de sus amplitudes, en cambio si esta diferencia es igual a un múltiplo entero de  $\lambda/2$  (media longitud de onda), una resta, y si ambas amplitudes son iguales, incluso una anulación local de las ondas.

Para la transmisión de luz con conductores de fibras ópticas fue necesario encontrar fuentes luminosas coherentes o sea las que emiten una luz lo más coherente posible.

Las ondas luminosas permitidas susceptibles de propagarse en un conductor de fibra óptica se denominan modos (ondas naturales o fundamentales).

Estos modos de propagación se pueden determinar matemáticamente con mayor exactitud aplicando las ecuaciones de Maxwell.

Este sistema de ecuaciones, de uso general para ondas electromagnéticas, se puede simplificar considerablemente si para los conductores de fibras ópticas se consideran únicamente ondas débilmente guiadas. Se tratan de ondas que se propagan casi en la misma dirección que el eje del conductor de fibra óptica y cuyas intensidades de campo son despreciables en la dirección de dicho eje. Se presentan cuando difieren muy poco el índice de refracción del núcleo ( $n_1$ ) y del recubrimiento ( $n_2$ ). Una medida para esta diferencia de índices de refracción es la diferencia normalizada de índices de refracción  $\Delta$  que se define como:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

En un conductor de fibra óptica la diferencia normalizada de índices de refracción es mucho menor que la unidad y por lo tanto las ondas luminosas son débilmente guiadas en el núcleo de este conductor.

Las soluciones de las ecuaciones simplificadas de ondas brindan muy buenas aproximaciones para los modos que se pueden propagar en el conductor de fibra óptica. Las ondas naturales o fundamentales presentan superficies de ondas planas, se polarizan linealmente y de hay su denominación  $LP_{v\mu}$ , en la cual  $v$  y  $\mu$  son los índices modales:

El valor  $v$  es el índice modal azimutal e indica la mitad del número de puntos luminosos que tiene cada anillo concéntrico. Puede adoptar los valores 0,1,2,3... indicando  $v = 0$  que cada anillo luminoso se halla presente sin subdivisión.

Con  $\mu$  se da el índice modal radial, que indica el número de anillos luminosos concéntricos del modo. Puede adoptar los valores 1,2,3.....

El modo fundamental se denomina  $LP_{01}$ , el que le sigue en orden,  $LP_{11}$ .

### 2.1.1.8.-Principios Químicos del conductor de fibra óptica

Vidrio de cuarzo:

El cuarzo que en su carácter de compuesto químico se denomina dióxido de silicio  $SiO_2$ , representa la cuarta parte del peso de la corteza terrestre y se lo encuentra por lo general en forma de cuarzita como componente de la arena.



### Fabricación:

En general la elaboración de vidrio de cuarzo de alta pureza tiene lugar mediante separación de  $\text{SiO}_2$  de la fase gaseosa, produciéndose, con el agregado de oxígeno y en virtud del desprendimiento de cloro gaseoso, la transformación del compuesto muy volátil tetracloruro de silicio -  $\text{SiCl}_4$ .

Se elige el proceso indirecto por medio de  $\text{SiCl}_4$  pues en contraposición con el  $\text{SiO}_2$  natural, mediante destilación es posible obtener este compuesto con alto grado de pureza.

Ecuación de la reacción:



Actualmente se fabrican los conductores de fibra óptica para las telecomunicaciones ópticas utilizando este proceso. Un factor muy importante para la propagación de la luz en un conductor de fibra óptica es, según se sabe, el índice de refracción  $n$  del vidrio. Este se puede ajustar por medio de un adecuado dopado, o sea agregando determinados óxidos durante la separación de la fase gaseosa. Por ejemplo agregando Fluor o trióxido de Boro se obtiene un índice de refracción bajo y al agregar dióxido de Germanio o pentóxido de fósforo, un índice más alto como el requerido para el núcleo del conductor de fibra óptica, se debe tener en cuenta, sin embargo, que son relativamente limitadas las variaciones del índice de refracción del vidrio de cuarzo que se puede obtener al variar el dopado.

En virtud del agregado de estos óxidos al dióxido de silicio de alta pureza, se modifica no solamente el índice de refracción sino otras propiedades.

Así por ejemplo la dilatación lineal frente a variaciones de temperatura del vidrio de cuarzo difiere cuando éste está dopado con respecto al no dopado. Es también de gran importancia el hecho que por incorporaciones de moléculas extrañas se incrementa la dispersión de la luz y, por ende, la atenuación de la que se propaga por el conductor.

Otro motivo por el cual se atenúa la luz que recorre el vidrio de cuarzo resulta de la absorción por los metales de transición Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Mn y por el agua en forma de iones OH. Sólo muy pequeñas contaminaciones del vidrio de cuarzo con estas impurezas metálicas o con iones de OH alcanzan para producir elevadas pérdidas de luz. La concentración de estas impurezas se indican en ppm (partes por millón) o en ppb (partes por billón =  $10^{-9}$ ).

Si en lugar de dióxido de silicio de alta pureza como material de partida para la fabricación de conductores de fibra óptica se usaran vidrios de varios componentes como por ejemplo vidrio de silicato alcalino de plomo o de borsilicato sódico, se obtendrían elevadas atenuaciones en función de las impurezas.

El vidrio común por ejemplo el utilizado para ventanas o vasos, está compuesta por óxidos adicionales que lo hacen mucho menos transparente a la luz; en cambio, tiene una serie de desventajas mecánicas y técnicas en lo relativo a su fabricación.

### 2.1.2.- Perfiles de los conductores de fibra óptica

Si en un conductor de fibra óptica se considera al índice de refracción  $n$  en función del radio  $r$ , se tiene el perfil del índice de refracción de este conductor. Con el mismo se describe la variación radial del índice de refracción del conductor de fibra óptica desde el eje del núcleo hacia la periferia del recubrimiento.

$$n = n(r)$$

La propagación de los modos en el conductor de fibra óptica depende de la forma de este perfil de índice de refracción.

En la práctica interesan los perfiles exponenciales; bajo esta denominación se entiende aquellos perfiles de índice de refracción que presentan una variación que es función exponencial del radio:

$$n^2(r) = n_1^2 \cdot \left[ 1 - 2 \cdot \Delta \cdot \left( \frac{r}{a} \right)^g \right] \quad \text{para } r < a \text{ en el núcleo}$$

$$n^2(r) = n_2^2 = \text{Cte.} \quad \text{para } r \geq a \text{ en el recubrimiento}$$

$n_1$ : índice de refracción en el eje del conductor de fibra óptica ( $r = 0$ )

$\Delta$ : diferencia normalizada de índices de refracción

$r$ : distancia del eje del conductor de fibra óptica, en  $\mu\text{m}$

$a$ : radio del núcleo, en  $\mu\text{m}$

$g$ : exponente, llamado también exponente del perfil

$n_2$ : índice de refracción del recubrimiento

La diferencia normalizada de índices de refracción se relaciona con la apertura numérica AN o los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  por la ecuación:

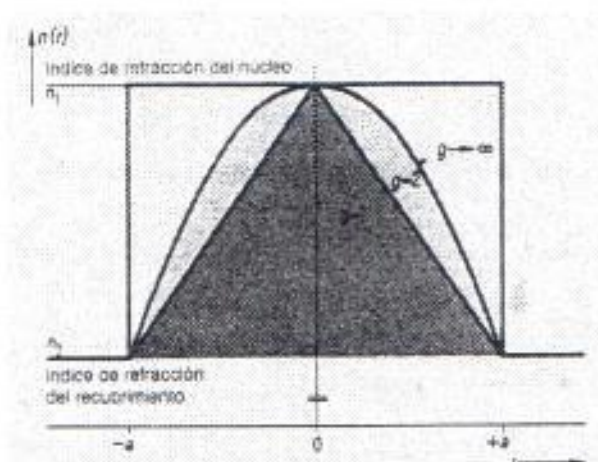
$$\Delta = \frac{AN^2}{2 \cdot n_1^2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2}$$

Merecen ser mencionados los siguientes casos especiales (ver figura 2.6)

$g = 1$ : perfil triangular

$g = 2$ : perfil parabólico

$g \rightarrow \infty$ : perfil escalonado (caso límite).



**Figura 2.6.- Perfiles de índices de refracción de un conductor de fibra óptica**

Únicamente en el último caso - el perfil escalonado - el índice de refracción es constante en el núcleo :  $n(r) = n_1 = \text{Cte}$ . En todos los demás perfiles, el índice de refracción  $n(r)$  en el núcleo se incrementa en forma gradual desde el valor  $n_2$  en el recubrimiento hasta el  $n_1$  en el eje del conductor de fibra óptica.

En virtud de este tipo de variación se denomina a estos perfiles también perfiles graduales. Esta denominación se ha adaptado especialmente para el perfil parabólico (con  $g=2$ ) ya que los conductores de fibra óptica con esta clase de perfil presentan muy buenas características técnicas para la conducción de la luz.

Otro valor importante en la descripción del conductor de fibra óptica son los así llamados parámetros  $V$  o parámetros estructurales  $V$ . Son función del radio  $a$ , de la apertura numérica  $AN$  del núcleo y de la longitud de onda del índice de longitud de onda  $k$  de la luz. El parámetro  $V$  es adimensional:

$$V = 2\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot AN = k \cdot a \cdot AN$$

$a$  : radio del núcleo  
 $\lambda$  : longitud de onda  
 $AN$  : apertura numérica  
 $k$  : índice de longitud

El número  $N$  de los modos conducidos en el núcleo depende de este parámetro con aproximadamente la siguiente relación para un perfil exponencial de exponente  $g$  :

$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

El número de modos del perfil escalonado ( $g \rightarrow \infty$ ) es aproximadamente

$$N \approx \frac{V^2}{2}$$

El número de modos del perfil gradual ( $g = 2$ ) es aproximadamente:

$$N \approx \frac{V^2}{4}$$

Un conductor óptico con varios modos se denomina conductor de fibra óptica multimodo.

Si se desea reducir el número de modos o sea disminuir los parámetros  $V$ , se debe reducir el diámetro del núcleo ( $2a$ ) o la apertura numérica ( $AN$ ) o aumentar la longitud de onda. De la apertura numérica depende esencialmente cuanta luz se puede acoplar al núcleo del conductor, por lo cual su valor debería ser lo más elevado posible. La reducción del radio del núcleo a es posible sólo en forma limitada en razón de tornarse cada vez más dificultoso el manipuleo y la técnica requerida para el conexionado.

Por otra parte se torna más dificultosa la fabricación de emisores y receptores para frecuencias más elevadas y en consecuencia su valor no se puede incrementar a discreción.

Si en conductor de fibra óptica con perfil escalonado ( $g \rightarrow \infty$ ) el parámetro  $V$  se reduce hasta un valor inferior a la constante  $V_{\infty} = 2,045$ , se podrá propagar en el núcleo sólo un único modo, el modo fundamental  $LP_{01}$ . Un conductor con estas características se denomina conductor de fibra óptica monomodo.

La constante  $V_{\infty}$  representa un valor límite para el conductor de fibra óptica con perfil escalonado ( $g \rightarrow \infty$ ). En el caso de un perfil exponencial con un valor cualquiera del exponente  $g$ , se obtiene una aproximación del valor límite  $V$  con la expresión:

$$V_c \approx V_{\infty} \cdot \sqrt{\frac{g+2}{g}}$$

Para un conductor de fibra óptica con perfil gradual ( $g = 2$ ) el valor límite es aproximadamente:

$$V_c \approx 2,404 \cdot \sqrt{2} = 3,4$$

La longitud de onda  $\lambda$  calculada que corresponde al valor límite  $V_c$  se denomina longitud de onda límite  $\lambda_c$

$$\lambda_c = \pi \cdot \frac{2a}{V_c} \cdot AN$$

En el núcleo de este conductor de fibra óptica se podrá propagar un único modo para todas las longitudes de onda  $\geq \lambda_c$ . O sea que a partir de la longitud de onda  $\lambda_c$  el conductor se comporta como un conductor de fibra óptica monomodo.

Asimismo cabe señalar que por la polarización de la luz el modo fundamental y todos los de orden superior están compuestos por dos modos cuyas ondas fundamentales oscilan en direcciones perpendiculares entre sí. Los efectos de estos modos de polarización tienen importancia únicamente para aplicaciones especiales como, por ejemplo, cuando se utilizan conductores de fibra óptica polarizada en la técnica de los sensores y en la brújula de conductores de fibra óptica. Los efectos que se obtiene por la división en estos dos modos en son relevantes para los sistemas actuales de telecomunicaciones por cables. Ello se refleja también en el hecho de que pese a existir los dos modos de polarización, se habla de conductores de fibras ópticas monomodo.

### 2.1.2.1 Perfil escalonado

Para que la luz sea conducida en el núcleo de un conductor de fibra óptica con perfil escalonado, el índice de refracción del núcleo  $n_1$  debe ser algo mayor que el del recubrimiento  $n_2$ , teniendo en cuenta la reflexión total en la superficie de separación de ambos de ambos vidrios. Si el valor del índice de refracción  $n_1$  se mantiene constante toda la sección del núcleo se habla de perfil escalonado del índice de refracción, pues el índice se incrementa en forma de escalón a partir del valor que tiene en el recubrimiento hasta el que posee en el núcleo y que allí permanece constante en la figura 2.7 se representa un conductor de fibra óptica con su perfil escalonado de índices de refracción y , además, el recorrido de un rayo luminoso con sus correspondientes ángulos.

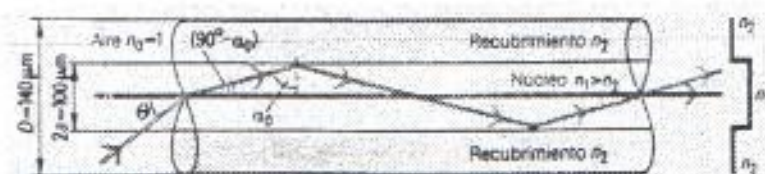


Figura 2.7.- Conductor de fibra óptica con perfil escalonado

Un conductor con estas características se denomina conductor de fibra óptica con perfil escalonado o fibra escalonada. La fabricación de este conductor es sencilla, pero en la actualidad ya no se utiliza. Un conductor con estas características es un conductor de fibras ópticas multimodo. Un impulso luminoso que se propaga en este conductor, está formado por múltiples impulsos luminosos parciales que son conducidos en cada uno de los modos del conductor.

En el extremo inicial del conductor de fibra óptica, cada uno de estos modos es excitado con un ángulo de acoplamiento diferente y conducido dentro del núcleo con una trayectoria óptica.

En consecuencia, cada modo recorre un camino diferente y llega al otro extremo del conductor en distintos tiempos. La relación entre los tiempos de recorrido máximo y mínimo es directamente proporcional a la relación entre los índices de refracción del recubrimiento y del núcleo o sea que está en el orden de magnitud de la diferencia de índices de refracción  $\Delta$  (más del 1%).

La distorsión producida en los distintos modos por estas diferencias de tiempo se denomina *dispersión modal* y da lugar a que se ensanche el pulso luminoso de corta duración que atraviesa al conductor de fibra óptica con perfil escalonado. Constituye una desventaja para las telecomunicaciones ópticas, pues reduce la velocidad de transmisión o el ancho de banda de transmisión.

Este efecto se ve atenuado por la influencia recíproca y el intercambio de energía entre los diferentes modos a lo largo de la trayectoria en el conductor de fibra óptica. Esta mezcla o acoplamiento de modos se produce con mayor intensidad en irregularidades del núcleo como en empalmes o curvaturas de la fibra.

La dispersión modal se puede eliminar totalmente dimensionando al conductor de fibra óptica con perfil escalonado de manera que conduzca a un único modo: el fundamental  $LP_{01}$ .

Pero sucede que también el modo fundamental se ensancha en el tiempo al atravesar un conductor de estas características. Este efecto se denomina *dispersión cromática*. Por tratarse de una propiedad del material, esta dispersión en general se produce en todos los conductores de fibra óptica. Sin embargo la dispersión cromática resulta relativamente pequeña o nula frente a la dispersión modal en longitudes de onda que van desde los 1200 a los 1600 nm.

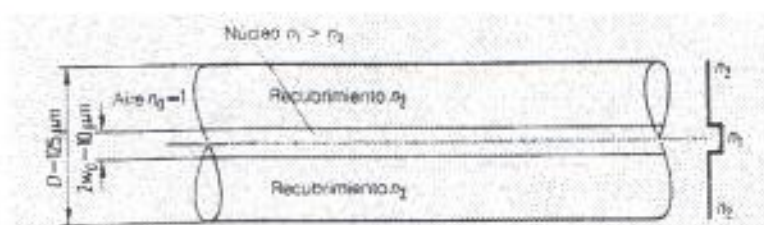
Para describir al valor del modo fundamental (amplitud de campo radial) se ha introducido al diámetro del campo  $2 * w_0$

Es necesario reducir el diámetro del campo  $2 * w_0$  hasta unos 10  $\mu\text{m}$  a fin de obtener un conductor de fibra óptica con perfil escalonado, baja atenuación y en el cual a longitudes de ondas mayores que 1200nm se propague únicamente el modo fundamental. Un conductor con estas características se denomina conductor de fibra óptica monomodo o fibra monomodo.

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica monomodo:

Diámetro del campo	$2w_0$	10 $\mu\text{m}$
Diámetro del recubrimiento	D	125 $\mu\text{m}$
Índice de refracción del núcleo	$n_1$	1,46
Diferencia de índices de refracción	$\Delta$	0,003 = 3 %

En la figura 2.8 se presenta la trayectoria de un rayo luminoso y el perfil de índices de refracción de un conductor de fibra óptica monomodo.



**Figura 2.8.- Conductor de fibra óptica monomodo**

Para un conductor de fibra óptica monomodo típico se obtiene la apertura numérica AN con:

$$AN = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \approx 1,46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,003} \approx 0,113$$

Con un ángulo de aceptación de :

$$\text{Sen } \theta = AN \approx 0,113$$

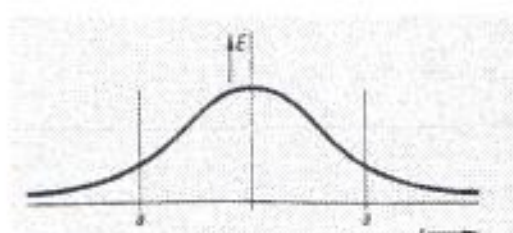
$$\theta \approx 6,5^\circ$$

Se debe tener en cuenta que en el conductor de fibra óptica monomodo son, comparando con el multimodo y de perfil escalonado, considerablemente menores no sólo el diámetro del núcleo sino también la apertura numérica y, por lo tanto el ángulo de aceptación, por lo cual el acoplamiento de la luz en aquel resulta relativamente difícil.

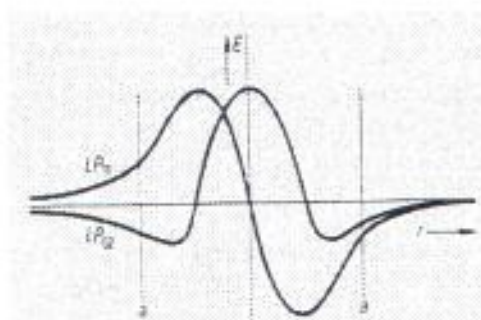
Para un conductor de fibra óptica monomodo típico se obtiene una longitud de onda límite (por arriba de la cual sólo se propaga el modo fundamental) y para la cual el parámetro V es  $V_c = 2,405$ :

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} \cdot AN = \pi \cdot \frac{8,5 \mu\text{m}}{2,405} \cdot 0,113 \approx 1,255 \mu\text{m} = 1255 \text{nm.}$$

A esta longitud de onda  $\lambda_c$ , el siguiente modo de orden superior -  $LP_{11}$  -ya no es capaz de propagarse (figura 2.5 y 2.10). A longitudes de onda mayores subsiste únicamente el modo fundamental  $LP_{01}$ . Pero por el recubrimiento también se propaga un campo de modos (figura 2.9).



**Figura 2.9.- Distribución radial del campo del modo fundamental  $LP_{01}$**



**Figura 2.10.- Distribución radial del campo de los modos LP<sub>11</sub> y LP<sub>02</sub>**

El valor del diámetro del campo es de gran importancia para la absorción en el caso que los conductores de fibra óptica monomodo tengan curvaturas o empalmes. Así, un diámetro de campo mayor ocasiona una menor conducción de las ondas luminosas en las curvaturas, pero produce bajas atenuaciones en empalmes y conectores.

### 2.1.2.2 Perfil gradual

En un conductor de fibra óptica con perfil escalonado y múltiples modos, éstos se propagan a lo largo de diferentes trayectorias por lo cual llegan al otro extremo del conductor a diferentes momentos. Esta dispersión modal es un efecto no deseado y puede ser reducida considerablemente si el índice de refracción en el núcleo varía en forma parabólica desde un valor máximo en el eje del conductor y decae hasta otro valor  $n_2$  en el límite con el recubrimiento.

Un perfil gradual o perfil exponencial con exponente  $g = 2$  se define por :

$$n^2(r) = n_1^2 - AN^2 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^2 \quad \text{para } r < a \text{ en el núcleo}$$

$$n^2(r) = n_2^2 \quad \text{para } r \geq a \text{ en el recubrimiento}$$

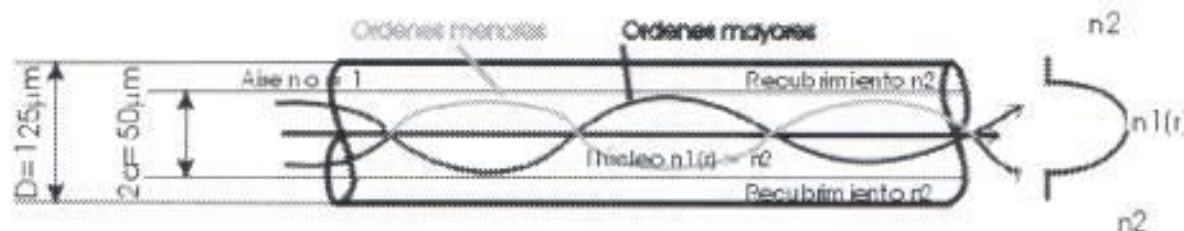
Un conductor de fibra óptica con este perfil gradual se denomina fibra gradual.

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica con perfil gradual:

Diámetro del núcleo	2a	50 $\mu\text{m}$
Diámetro del recubrimiento	D	125 $\mu\text{m}$
Índice de refracción del núcleo	$n_1$	1,46
Diferencia de índices de refracción	$\Delta$	0,010

En la figura 2.11 se ilustra el recorrido de ondas luminosas de diferente orden y el perfil en un conductor de fibra óptica con perfil gradual.





**Figura 2.11.- Conductor de fibra óptica con perfil gradual**

Los rayos luminosos recorren el conductor de fibra óptica describiendo trayectorias onduladas o helicoidales; contrariamente al conductor de perfil escalonado, en cuyo caso los rayos se propagan en forma zigzagueante.

Como consecuencia de la variación continua del índice de refracción  $n(r)$  en el núcleo, los rayos luminosos también se refractan continuamente variando su dirección de propagación al recorrer estas trayectorias helicoidales. Si bien los rayos que oscilan en torno del eje deben recorrer aun un camino más largo que el que se propaga a lo largo de este eje, pueden desarrollar una mayor velocidad, proporcional al menor índice de refracción que tiene el material en los puntos más alejados del eje, y así se compensa en el tiempo la mayor extensión del recorrido. Como resultado de esta compensación desaparece casi totalmente la diferencia de tiempos de recorrido. Cuando se conforma con exactitud el perfil parabólico de índices de refracción, se han medido en un conductor de fibra óptica con perfil gradual, con un tiempo total de recorrido de la luz de  $5 \mu s$  a lo largo de  $1 \text{ km}$ , dispersiones de tiempo sólo algo mayores de  $0,1 \text{ ns}$ .

Esta insignificante diferencia de tiempo de recorrido en el conductor de fibra óptica con perfil gradual se produce no sólo por la dispersión en el material, sino también por la dispersión del perfil. Se origina en virtud de que los índices de refracción varían en el núcleo y en el recubrimiento de diferente manera con la longitud de onda  $\lambda$  y en consecuencia tanto la diferencia de índices de refracción  $\Delta$  como el exponente del perfil  $g$  son función de la longitud de onda. Para un perfil gradual de forma parabólica se obtiene teóricamente el exponente óptimo del perfil  $g$ , por la expresión:

$$g = 2 - 2P - \Delta * (2 - P),$$

en la cual tanto parámetro  $P \ll 1$  como la diferencia de índices de refracción  $\Delta$  depende de la longitud de onda  $\lambda$  en consecuencia depende de ella también el exponente del perfil gradual.

El perfil de índices de refracción de un conductor de fibras ópticas con perfil gradual y con  $g \approx 2$  permite obtener únicamente en un rango de longitudes de onda muy reducido, tiempos de recorrido similares para todos los modos conducidos.

Como en un conductor de fibra óptica con perfil gradual el índice de refracción  $n(r)$  depende de la distancia  $r$  al eje del conductor, también es una función de  $r$  el ángulo de aceptación, cuyo valor es muy importante para el acoplamiento de la luz al núcleo.

$$\text{sen } \theta(r) = \sqrt{n^2(r) - n_2^2} = AN \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2} \leq AN.$$

El ángulo de aceptación es máximo e igual a la apertura numérica AN en el eje del conductor ( $r = 0$ ). En el límite con el recubrimiento ( $r = a$ ) este ángulo se anula.

La apertura numérica vale para un conductor de fibra óptica con perfil gradual típico:

$$AN = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \approx 1,46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,01} \approx 0,206$$

y el ángulo de aceptación  $\theta_{\max}$  en el eje del conductor de fibra óptica:

$$\begin{aligned} \text{sen } \theta_{\max} &= AN \approx 0,206 \\ \theta_{\max} &\approx 11,9^\circ \end{aligned}$$

Se ha encontrado que las coordenadas  $r^2$  son las más apropiadas para representar en un sistema de ejes coordenados al ángulo de aceptación o en función de la distancia  $r$  al eje del conductor de fibra óptica. Un sistema con estas coordenadas se denomina *diagrama del espacio de fases*. En las figuras 2.12 y 2.13 se comparan los diagramas de un conductor de fibra óptica con perfil gradual con otro de perfil escalonado.

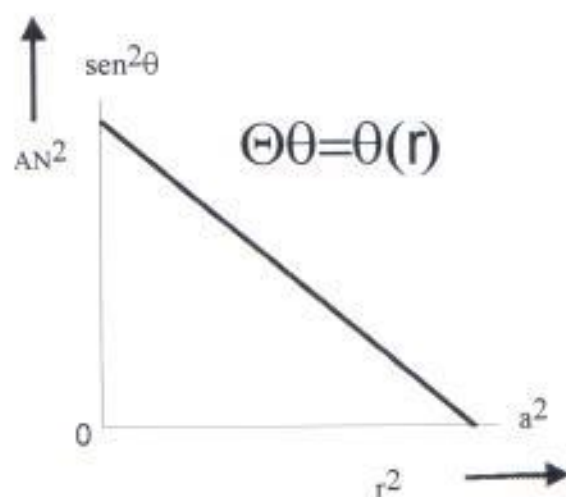


Figura 2.12.- Diagrama del espacio de las fases de un conductor de fibra óptica con perfil gradual

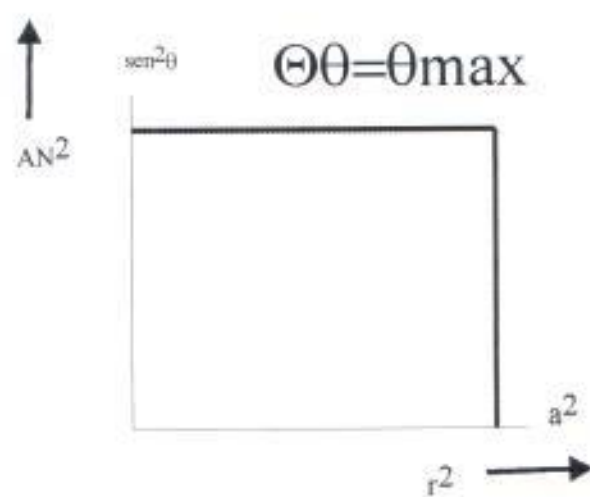


Figura 2.13.- Diagrama en el espacio de las fases de un conductor de fibra óptica con perfil escalonado

La superficie debajo de la curva límite dada por el ángulo aceptación máxima  $\theta_{\max}$  es proporcional a la potencia luminosa acoplable al núcleo. Se observa que a igual apertura numérica AN e igual radio del núcleo  $a$ , en un conductor de fibra óptica con perfil escalonado dicha potencia tiene un valor que duplica la de un conductor con perfil gradual. También es proporcional a esta superficie el número  $N$  de modos guiados en el núcleo. Cada uno de estos modos se puede localizar dentro de esta superficie. Así, los modos  $LP_{\nu\mu}$  de órdenes menores, cuyos índices modales son aproximadamente  $\nu = 0,1$  y  $\mu = 1,2$  y se propagan casi paralelamente al eje del conductor, se encuentran en las cercanías del origen, en cambio los modos  $LP_{\nu\mu}$  de orden superior (con  $\nu\mu \gg 1$ ) se hallan más alejados del mismo. Los modos ubicados fuera de esta área no son guiados: son muy amortiguados. Aquellos modos que se encuentran muy poco fuera de la curva límite tienen limitadas posibilidades de propagación con elevada atenuación; estos modos se denominan *modos fugados*: en parte son guiados y en parte reflejados.

Con el diagrama del espacio de las fases se pueden describir otras propiedades de los conductores de fibras ópticas, como p. ej. condiciones de excitación; también se puede utilizar para calcular la potencia luminosa acoplable desde una fuente luminosa a un conductor de fibra óptica.

### 2.1.2.3 Perfil múltiple

En un conductor de fibra óptica monomodo la dispersión total se compone, como se sabe, de dos clases de dispersión. Se trata, por un lado, de la dispersión en el material: se origina en el hecho que el índice de refracción  $n$ , por ende, la velocidad de la luz son funciones de la longitud de onda, o sea,  $n = n(\lambda)$  y  $c = c(\lambda)$  y, por el otro lado, de la dispersión en la guía de ondas, resultante de la distribución de la luz del modo fundamental  $LP_{01}$  entre el núcleo y el recubrimiento y, por lo tanto, la diferencia de índices de refracción  $\Delta = \Delta(\lambda)$  son función de la longitud de onda. Ambas clases de dispersión combinadas se denominan dispersión cromática.

Para longitudes de onda mayores que 1300nm ambas clases de dispersión tienen signos opuestos en el vidrio de cuarzo. Variando la concentración de impurezas en el vidrio de cuarzo, se puede modificar la dispersión en el material en forma insignificante. En cambio, la dispersión por guía de ondas se puede modificar considerablemente variando la estructura del perfil de índices de refracción.

El perfil de índices de refracción de un conductor de fibra óptica monomodo común es un perfil escalonado con una diferencia de índices de refracción  $\Delta$ . Para esta estructura de perfiles simple se anula la sumatoria de ambas dispersiones en las cercanías de la longitud de onda  $\lambda = 1300\text{nm}$ .

Para desplazar esta anulación de las dispersiones a otras longitudes de onda es necesario modificar la dispersión de la guía de ondas y, por lo tanto, actuar sobre la estructura del perfil del conductor de fibra óptica. Se llega así a los *perfiles de índices de refracción múltiples o segmentados*. Con el auxilio de estos perfiles se pueden fabricar conductores de fibra óptica cuyo cero de dispersión se halla

desplazado mas allá, de los 1550nm (los así llamados *conductores de fibra óptica con dispersión desplazada*) u otros con valores muy bajos de dispersión en toda la gama de las longitudes de onda que van desde los 1300 a los 1550nm (los *conductores de fibra óptica de dispersión plana o dispersión compensada*).

## 2.1.3.- Parámetros

### 2.1.3.1.- Atenuación

La luz que se propaga en un conductor de fibra óptica experimenta un atenuación : produce una pérdida de energía. Para cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios es necesario mantener estas pérdidas a un mínimo posible . La atenuación de un conductor de fibra óptica es un parámetro importante para las planificaciones de redes de cables de telecomunicaciones y la produce principalmente los fenómenos físicos como son la absorción y dispersión.

La magnitud de estas pérdidas luminosas depende entre otros factores de la longitud de onda acoplada . Por eso para determinar las gamas de longitudes de onda adecuadas para la transmisión óptica con baja atenuación , resulta útil medir la atenuación de un conductor de fibra óptica en función de la longitud de onda (espectral).

Mientras que el fenómeno de la absorción se produce únicamente a determinadas longitudes de onda, las bandas de absorción , la pérdida luminosa a la dispersión existe para todas las longitudes de onda. Dado que la dispersión se produce por inhomogeneidades de la fibra , cuyas dimensiones son en general menores que la longitud de onda de la luz, se puede utilizar la *Ley de la dispersión de Rayleigh* con buen aproximación para explicar est fenómeno: indica que ha medida que aumentan la longitud de onda , la pérdida por dispersión decrece con la cuarta potencia de  $\lambda$ (figura 2.14).

## CARACTERÍSTICA TÍPICA DE ATENUACIÓN DE LAS FIBRAS

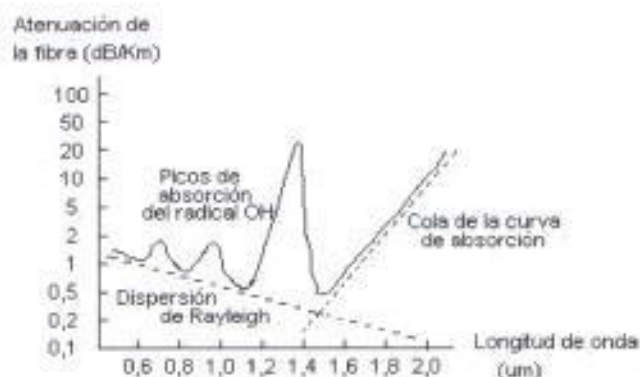


Figura 2.14 .- Curva de atenuación de Rayleigh

Si se comparan por ejemplo las pérdidas por dispersión en las longitudes de ondas preferidas para las telecomunicaciones ópticas- 850, 1300 y 1550 nm.- se observa que a 1300 nm. Las pérdidas ascienden al 18 %, y a 1550 nm. A solo 9% del valor que tenían a 850nm. . Resulta pues ventajoso el uso de cables conductores de fibra óptica en estas longitudes de onda.

Si se observa la propagación de la luz en un conductor de fibra óptica en el estado estacionario , se verificara que la potencia luminosa P conducida decrece en forma exponencial con la longitud L del conductor

$$P(L) = P(0) * 10^{-\alpha(L/10)}$$

En esta formula P(0) es la potencia luminosa que se acopla al comienzo del conductor de fibra óptica P(L) la potencia luminosa aún existente en el conductor al cabo de la longitud L y  $\alpha$  el coeficiente de atenuación , con el cual se da la atenuación por unidad de longitud. Un conductor de fibra óptica de longitud L y coeficiente de atenuación  $\alpha$  tiene un atenuación de :

$$\alpha * L = 10 \log (P(0) / P(L)).$$

$\alpha$ : coeficiente de atenuación e db/ Km.

L : Longitud del conductor de fibra óptica Km.

### 2.1.3.2.-Ancho de Banda

Los dos parámetros más importantes que definen las características de transmisión en un conductor de fibra óptica son la atenuación y el ancho de banda B o bien el producto de atenuación y ancho de banda b como parámetro usado en la práctica. Mientras que con la atenuación se describe la pérdida de luz que se produce a lo largo del conductor de fibra óptica el ancho de banda constituye una medida de su comportamiento dispersivo

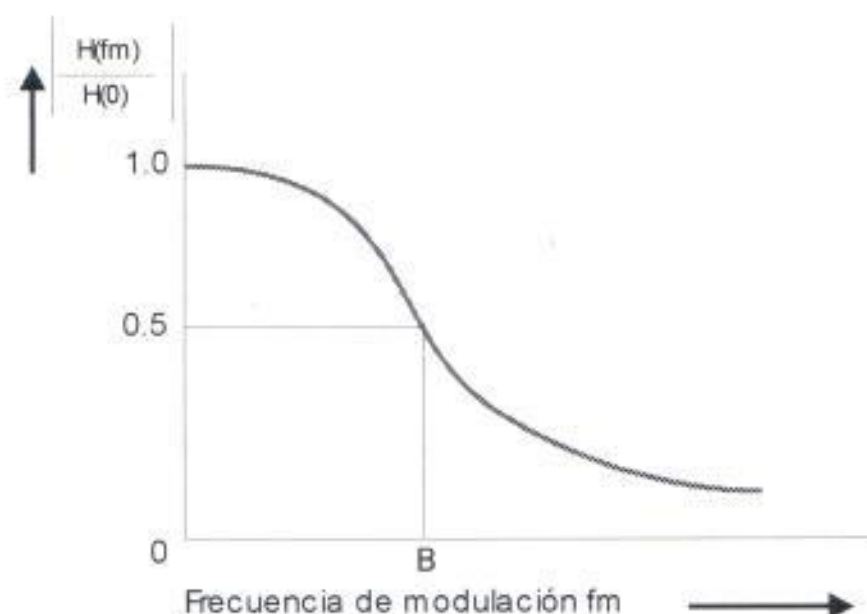
Un pulso que se propaga a lo largo del conductor incrementa su duración a causa de la dispersión si este efecto se traslada al campo de la frecuencia el conductor de fibra óptica se comporta como un filtro pasabajo.

Por lo anterior se entiende el hecho de que por un conductor de fibra óptica a medida que aumenta la frecuencia de modulación F ]decrece la amplitud de una onda luminosa hasta quedar anulada. EL conductor deja pasar señales con bajas frecuencias y atenúa aquellas a medida que aumentan estas. Si por cada frecuencia de modulación  $f_m$ . Se miden las amplitudes de potencia luminosa a comienzos  $P_1(f_m)$  y al final  $P_2(f_m)$  del conductor de fibra óptica, se obtiene al establecer la relación de ambas amplitudes el valor de la función de transferencia H ( $f_m$ )

$$H(f_m) = P_2(f_m) / P_1(f_m)$$

H( $f_m$ ) es una función de la frecuencia de modulación  $f_m$  . Habitualmente se habilita el valor de la función de transferencia dividiéndolo por H(0). En este caso H(0) es la

función de transferencia correspondiente a la función de modulación  $f_m = 0$  Hz : no hay modulación. En la figura 2.15 se representa una curva típica de la función de transferencia de un conductor de fibra óptica.



**Figura 2.15.- Función de transferencia de un conductor de fibra óptica**

El desarrollo de la curva acampanada corresponde aproximadamente Al de un filtro pasabajo de Gauss . La frecuencia de modulación para la cual el valor normalizado de la función de transferencia es igual a 0.5, se denomina ancho de banda del conductor de fibra óptica.

$$H(f_m = B) / H(0) = 0.5$$

el ancho de banda es pues aquella frecuencia de modulación a la cual la amplitud (potencia luminosa ) comparada con el valor que tiene a frecuencia nula, decae ópticamente en un 50 % ósea 3 db.

### 2.1.3.3.-Dispersión cromática

Los pulsos luminosos se propagan por el conductor de fibra óptica con la velocidad de grupo :

$$c_g = c / n_g$$

en la cual  $n_g$  es el índice de refracción de grupo en el núcleo que a su vez es función de la longitud de onda  $\lambda$ . El tiempo de recorrido de grupo que requiere un pulso luminoso para recorrer un conductor de fibra óptica de longitud L es :

$$t_g = L / c_g = (L / c) * n_g$$

En consecuencia al depender del índice de refracción de grupo , el tiempo de recorrido de grupo también es función de  $\lambda$ . Todas las fuentes luminosas emiten luz

no solo una única longitud de onda  $\lambda$  si no también en un ancho espectral  $\Delta\lambda$  distribuido alrededor de esa longitud de onda. En virtud de este efecto los componentes de la luz se propagan con diferentes velocidades dentro  $\Delta\lambda$  y varían los tiempos de recorrido.

La dispersión en el material  $M_0$  da una medida de la variación del índice de refracción de grupo  $n_g$  para diferentes longitudes de onda y se la calcula derivando a dicho índice con respecto a la longitud de onda:

$$M_0(\lambda) = (1/c) * (dn_g(\lambda)/d\lambda) = (1/L) * (dt_g(\lambda)/d\lambda)$$

Para las unidades de la dispersión en el material  $n_0$  se toma en general:

$$\text{ps/nm*km}$$

El índice de refracción de grupo presenta un mínimo para el vidrio de cuarzo en una longitud de onda de aproximadamente 1300 nm. Por lo tanto la dispersión del material  $M_0$  se puede despreciar.

La dispersión en el material es una magnitud que depende de la sustancia y puede ser modificada, variando el dopado del vidrio, dentro de determinados límites, influyéndose sobre el valor mínimo citado. La dispersión modal tiene un valor muy superior que la del material en las cercanías del mínimo considerado.

La dispersión en la guía de onda es muy importante para los conductores de fibra óptica monomodo. Este efecto se origina en virtud de dependencia de la longitud de onda respecto de la distribución luminosa del modo fundamental entre el núcleo y el recubrimiento.

Cuan mayores son las longitudes de ondas  $\lambda$  tanto más se incrementa la penetración desde el núcleo al recubrimiento al modo fundamental LP<sub>01</sub> (figura 2.16). La velocidad de propagación de una onda luminosa es unitaria en el núcleo y en el recubrimiento.

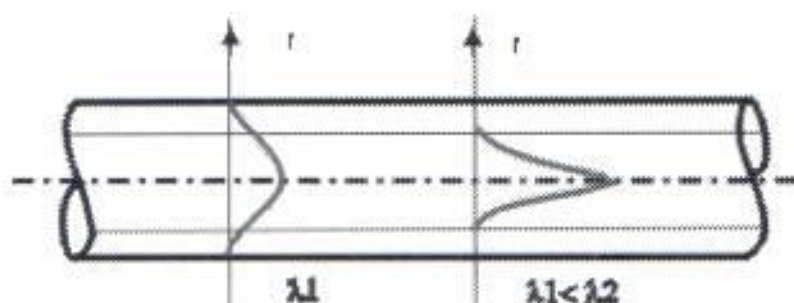


Figura 2.16.- Distribución de la energía del modo fundamental a dos longitudes de onda diferentes

La suma de las dos dispersiones consideradas (en el material y en las guías de onda) se denomina dispersión cromática  $M(\lambda)$ :

$$M(\lambda) = M_0(\lambda) + M_1(\lambda)$$

La longitud de onda  $\lambda_0$  es la cual se anula la dispersión cromática se denomina cero de la dispersión cromática.

#### 2.1.3.4.-Diámetro del campo

La distribución luminosa del modo fundamental es de suma importancia para evaluar las pérdidas resultantes, curvaturas y empalmes de un conductor de fibra óptica monomodo. Para caracterizar esta distribución se definió el radio de campo de modo en forma abreviada, radio del campo  $w_0$  a la diámetro del campo  $2 w_0$  (figura 2.23)

Se designa con  $w_0$  al radio al cual la amplitud radial del campo se reduce a  $1/E$  (aproximadamente 37%) de su valor máximo en el eje del conductor de fibra óptica

El diámetro del campo es una función directa de la longitud de onda. EL radio del campo  $w_0$  referido al radio del núcleo es únicamente función del parámetro estructural  $V$  que depende de la longitud de onda  $\lambda$  y de la apertura numérica  $AN$  con la sig. relación:

$$V = \pi * (2a / \lambda) * AN$$

Para el conductor de fibra óptica monomodo se puede utilizar una fórmula, en un rango del parámetro estructural comprendido entre  $1.6 < V < 2.6$  reproduce con suficiente exactitud la relación entre el radio de campo  $w_0$ , el radio del núcleo y el parámetro estructural:

$$W_0 \approx (2.6 / V) * a$$

La gama señalada de los parámetros estructurales corresponde al rango de longitudes de onda que van de los 1150 nm. A los 1875 nm. Y por lo tanto cubre las usuales longitudes de onda de servicio de 1300 nm, y 1550nm.

#### 2.1.3.5.-Campo Cercano

Bajo campo cercano de un conductor de fibra óptica se entiende la distribución de densidad de la potencia luminica sobre la sección al final del mismo

#### 2.1.3.6.-Campo lejano

Bajo campo lejano de un conductor de fibra óptica se entiende a la distribución de la potencia luminica  $I_r(\theta)$  irradiada en el extremo del conductor, con respecto al ángulo  $\theta$  referido al eje óptico



### 2.1.3.7.-Resistencia Mecánica

A lo largo del conductor de fibra óptica se puede producir puntos mecánicamente débiles a causa de inhomogeneidades en el vidrio o en virtud de perturbaciones en su superficie. Dado que estas irregularidades del conductor de fibra óptica se pueden efectuar de forma estadística las comprobaciones sobre la resistencia mecánica serán solo de tipo probabilística además la rotura de un conductor de fibra óptica a partir de estos puntos débiles es un proceso que depende del tiempo

Cabe mencionar que la resistencia de un conductor de fibra óptica se verifica durante la fabricación por medio de un ensayo continuo. En el se aplica el conductor, mientras este pasa por el proceso, una tensión de  $345\text{N/mm}^2$  por medio un sistema de rodillo

### 2.1.4.- Fabricación del Cable de fibra óptica

#### 2.1.4.1.-Método Por fusión de vidrio

Uno de los primeros procesos que utilizaron para la fabricación del cable de fibra óptica fue el método de varilla en tubo. En el mismo se introduce un avarilla de cuarzo de alta pureza como núcleo en un tubo que hace de recubrimiento y está formado por vidrio de cuarzo con bajo índice de refracción. Las dimensiones de la varilla son tales que prácticamente no que da espacio entre una u otra.

Las desventajas de este simple proceso de fabricación consisten en que después del estirado de la fibra quedan pequeñísimos deterioros e impurezas en la superficie de separación entre ambos vidrios, que ocasionan elevadas atenuaciones (de  $500 - 100\text{ db/km}$ ) y además solo se puede fabricar fibras ópticas multimodo con perfil escalonado.

Para evitar este problema los vidrios correspondientes al núcleo y al recubrimiento son unidos en estados de fusión y luego se estira la fibra de este material directamente al salir del estado de fusión. En este método no se utiliza una preforma sólida y se lo denomina Método de los dos crisoles ya que los vidrios que se utilizan para el núcleo y el recubrimiento se funden en dos crisoles separados. Se utilizan vidrios de alta pureza con varios componentes como el silicato de plomo y borsilicato sódico.

También se pueden fabricar conductores de fibra óptica con perfil gradual por difusión o intercambio de iones entre los vidrios del núcleo y del recubrimiento. Resulta imposible mantener totalmente limpio el interior de los crisoles y las impurezas que por esta causa llegan al conductor de fibra óptica se agregan a los metales de transición ya existentes e incrementando al transición (entre  $5$  y  $20\text{ db/Km}$  a  $850\text{ nm}$ ). Este método de producción se utiliza especialmente para la construcción de cables de fibra óptica con núcleo de gran diámetro ( $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$ ).

El método de separación de fases de vidrio consiste en formar un varilla de vidrio de borsilicato sódico a 1200 °C y luego se la mantiene durante algunas horas a 600°C , produciéndose una transformación de una fase de vidrio de borato de sodio en una matriz de vidrio de SiO<sub>2</sub>.

En la fase de vidrio de borato de sodio se concentran los metales de transición como por ejemplo el Fe- Cu, los que posteriormente se eliminan por medio de ataque de ácido quedando una preforma Porosa , a la cual se impregna con una solución salina de alta pureza , como por ejemplo nitrato de cesio y después se le somete a la vado externo . el dopado con cesio incrementa en el interior el índice de refracción. La región lavada forma a el recubrimiento . Este método permite fabricar conductores de fibra óptica con perfil escalonado y gradual con un atenuación de 10 hasta 50 db/km. a 850 nm.

Otro método utilizado para la fabricación de preformas consiste en formar para el núcleo , una varilla de vidrio de cuarzo comercial y aplicarle, mientras se la estira un recubrimiento de plástico transparente de bajo índice de refracción. Con este procedimiento se obtienen conductores de fibra óptica con atenuaciones de 5 hasta 50 db/km. a 850 nm. También existen conductores de fibra óptica cuyo núcleo y recubrimiento se fabrica empleando materiales plásticos ópticamente puros con diferentes índices de refracción, son los así llamados conductores de fibra óptica plásticos. Los valores de atenuación medidos en estos conductores , a 600 nm. , varían de 100 a 400 db/km

#### **2.1.4.2.-Estirado de la fibra**

Para el estirado de la fibra se coloca a la preforma en el soporte de la torres de estirado

La Posición del soporte se puede variar en sentido vertical por medio del dispositivo de avance . Con un elemento calefactor se calienta el extremo inferior de la preforma hasta aprox. 2000°C de tal forma que adquiera la viscosidad adecuada para estirar la fibra hacia abajo. La velocidad de estirado (valor típico 200metros/minuto) y la del dispositivo de avance se deben juntar exactamente por medio de un circuito de regulación para obtener una fibra cuyo diámetro se mantenga constante en el valor requerido.

Durante la operación de estirado se mantienen constantes las relaciones geométricas del núcleo y del recubrimiento aunque del diámetro de la preforma hasta el de la fibra estirada la reducción puede llegar a una relación de 300:1.

Directamente atrás del instrumento utilizado para la verificación del diámetro se aplica en torno de la fibra el revestimiento . La envoltura del plástico protege al conductor de fibra óptica contra micro curvaturas , mejora su resistencia y facilita su manejo . Cuando el revestimiento se halla endurecido por efecto de calor o radiación ultravioleta, el conductor de fibra óptica es sometido al ensayo continuo de resistencia a la tracción, haciendo pasar a la fibra óptica con su revestimiento por una serie de poleas las cuales ejercen sobre el mismo una tensión mecánica

ajustable con gran precisión, el conductor de fibra óptica debe resistir esta carga mínima antes de ser bobinado en un tambor cilíndrico.

### 2.1.5. - Configuración del cable de fibra óptica

Constitución de los cables de F.O.

En general los cables de fibra óptica están compuestos de los siguientes elementos:

- Fibras ópticas
- Elementos de relleno
- Compuestos de relleno
- Cintas de envoltura del núcleo
- Elemento de refuerzo
- Ligaduras
- Hilo de rasgado
- Cubierta

Las fibras ópticas con sus protecciones están dispuestas en una o dos capas concéntricas alrededor de un elemento central en paso de hélice o S-Z( cambia la dirección del trenzado después de un número determinado de vueltas, cada 90cm aproximadamente), constituyendo el conjunto el núcleo del cable.

El número de fibras ópticas que puede tener el cable( su capacidad), será variable y dependerá del tipo de cable.

Podemos distinguir los siguientes tipos de cables de fibra óptica:

- Cables ópticos multifibras.
- Cables ópticos monofibra.

a) Cables ópticos multifibra multimodo.

Existen cables con numeroso número de fibras, pero quizás el que presenta mejores características desde el punto de vista de atenuación y ancho de banda es el de 16 fibras.

b) Cables ópticos multifibra monomodo.

En este tipo de cables la protección secundaria es holgada, pudiendo tener cada cable 1, 2, 4 u 8 fibras cada uno. Cabe decir que en la actualidad ya se utilizan cables de 128 fibras.

c) Cables ópticos monofibra( multimodo y monomodo).

En estos cables la protección secundaria siempre es ajustada. El elemento de refuerzo está formado por hilaturas de fibra de aramida dispuestas longitudinalmente sobre la segunda protección.

Luego se dispone una cubierta termoplástica compuesta de material ignífugo que suele ser poliuretano o similar. Destacar que en los cables monofibra multimodo la cubierta termoplástica es verde, mientras que en los monomodo es amarilla.

#### Elementos de relleno.

Generalmente son tubos de material plástico de color negro, similares a los utilizados para albergar las fibras y que se emplean para rellenar los espacios vacíos del núcleo.

#### Compuestos de relleno.

El cable está relleno de un compuesto hidrófugo, normalmente petrolato, que se dispondrá en los espacios vacíos del núcleo y entre éste y la cubierta.

#### Cintas de envoltura del núcleo.

El núcleo del cable se cubre con una o varias cintas dieléctricas de poliéster o material similar, de espesor suficiente para garantizar la debida protección térmica del núcleo durante el proceso de extrusión de la cubierta del cable.

#### Elemento de refuerzo.

Su misión fundamental es la de proporcionar al cable un elemento apto para soportar la tensión de tiro durante la instalación. Su ubicación en el cable y su composición depende del tipo de cable.

En los cables metálicos el elemento de refuerzo está constituido por una sirga de acero de 19 hilos. Está situado en la parte central, axial, del cable y está recubierto por una capa de polietileno negro de baja densidad. Sobre este elemento se dispondrán las fibras ópticas, en paso de hélice, formando el conjunto del núcleo del cable.

En los cables no metálicos o dieléctricos el elemento de refuerzo está constituido por hilaturas de fibra de aramida dispuestas en hélice sobre la cubierta interior de polietileno, poliuretano o termoplástico, según el tipo de cable.

Los cables dieléctricos tienen un elemento central no metálico que sirve de soporte para posicionar las fibras ópticas y así configurar el núcleo del cable.

#### Ligaduras.

Son ataduras plásticas o hilos de nylon dispuestas en hélice y colocadas debajo y sobre la envolvente del núcleo.

Hilos de rasgado.

Hilos de poliamida o similar dispuestos longitudinalmente entre el núcleo y la cubierta interior y entre las dos cubiertas de los cables. Se emplean para facilitar el rasgado de las cubiertas de los cables para conseguir su eliminación.

### **2.1.5.1.-Cubierta.**

Es la parte exterior del cable y sirve para proteger el núcleo del mismo de los agentes externos.

La cubierta de los cables multifibra monomodo en función de su aplicación o lugar de instalación, pueden ser de los siguientes tipos:

- PEAP
- PESP
- PKP
- PKESP
- PKCP
- PUKPU
- TKT
- KT

Cables con cubierta PEAP.

La cubierta PEAP está formada por:

- Polietileno de baja densidad.
- Estanca Aluminio.
- Polietileno de alta densidad.

Este tipo de cable no se instala actualmente. El elemento de refuerzo está constituido por una sirga de acero situada en la parte central, axial del cable.

Cables con cubierta PESP.

La cubierta está formada por:

- Polietileno de baja densidad.

- Estanca Acero.
- Polietileno de alta densidad.

Este tipo de cable tampoco se instala actualmente. El elemento de refuerzo y su disposición en el cable es igual que en el cable PEAP.

Cables con cubierta PKP.

La cubierta PKP está formada por:

- Polietileno de baja densidad.
- Fibras de aramida.
- Polietileno de alta densidad.

Este cable es el que más se utiliza actualmente. El elemento de refuerzo está constituido por hilaturas de fibras de aramida dispuestas en hélice sobre la cubierta interior de polietileno.

Cables con cubierta PKESP o PKASP.

La cubierta está formada por:

- Polietileno de baja densidad.
- Fibras de aramida.
- Estanca Acero.
- Polietileno de alta densidad.

En la actualidad ha sido sustituido por los cables autoportados PKCP.

El elemento de refuerzo está constituido por hilaturas de fibra de aramida, distribuidas en capas y dispuestas en paso de hélice sobre la cubierta interior de polietileno. Éstas tienen un gran poder de absorción de los impactos por lo que también se la conoce como "cubierta anticazadores".

Cables con cubierta PKCP.

Está formada por:

- Polietileno de baja densidad.
- Fibras de aramida.

- Cintas de material antibalístico.
- Polietileno de baja densidad.

El elemento de refuerzo está constituido por hilaturas de fibra de aramida dispuestas en hélice sobre la cubierta interior de polietileno, sobre las fibras de aramida se colocan una o varias cintas de material resistente a impactos balísticos.

Los tubos que contienen las fibras van en paso S-Z, sustituyendo estos cables a los PKESP. Este cable es autosoportado.

Cables con cubierta PUKPU.

Formada por:

- Poliuretano.
- Fibras de aramida.
- Poliuretano.

El elemento de refuerzo está formado por hilaturas de aramida dispuestas en forma de hélice sobre la cubierta interior de poliuretano. La cubierta exterior de estos cables es de color naranja. Este cable sólo se utiliza en labores de conservación.

Cables con cubierta TKT.

Formada por:

- Termoplástico.
- Fibras de aramida.
- Termoplástico.

El elemento de refuerzo está formado por hilaturas de aramida dispuestas en forma de hélice sobre la cubierta interior de termoplástico. El termoplástico será de un material ignífugo, poliuretano o similar. La cubierta exterior de estos cables es de color amarillo en los cables de fibra óptica monomodo, y verde en los multimodo. A estos cables se los denomina cables " para interiores".

Cables con cubierta KT.

Formados por:

- Fibras de aramida.

- Termoplástico.

El elemento de refuerzo está formado por hilaturas de fibra de aramida dispuestas en forma de hélice sobre el núcleo. La cubierta exterior de éstos es de color negro. También son denominados "cables de acometida".

Los cables monofibra también tienen este tipo de cubierta, dependiendo de si son monomodo o multimodo la cubierta exterior ignífuga será amarilla o verde. Estos cables monofibra se utilizan en las centrales, en los puntos de red, y en general, en aquellos lugares que donde se requiera disponer de conectores para efectuar medidas o tener flexibilidad en la red.

La segunda protección de las fibras ópticas de los cables de acometida es holgada, mientras que la de los cables monofibra es ajustada.

### **2.1.5.2.-Constitución de la fibra óptica.**

La fibra óptica es una guía de ondas luminosas, constituida por dos dieléctricos de sílice cilíndricos coaxiales de distinto índice de refracción, denominados núcleo y revestimiento.

En toda fibra óptica podemos distinguir entre la fibra, propiamente dicha, y las protecciones de ésta.

En cuanto a los elementos que constituyen la fibra óptica podemos decir que generalmente son:

- Núcleo
- Revestimiento
- Protección primaria o recubrimiento
- Protección secundaria

#### **Núcleo.**

Es el elemento interior y se encarga de conducir la señal óptica.

Tiene un diámetro nominal de 10 o 50 micrómetros, según se trate de fibras ópticas monomodo o multimodo.

#### **Revestimiento.**

Es el elemento que rodea al núcleo y su misión es la de confinar la señal óptica en el mismo, por ello su índice de refracción es menor que el del núcleo.

Tiene un diámetro nominal de 125 micrómetros.



### Protección primaria o recubrimiento.

Es un barniz de acrilato o silicona, que se aplica a la fibra en el proceso de fabricación y cuya misión consiste en preservar a la fibra de ataques químicos y dotarla de mayor resistencia mecánica.

Tiene un diámetro nominal de 500 micrómetros en los cables monofibra y de 250 micrómetros en los cables multifibra con protección secundaria holgada

*Según el tipo de cable puede ir coloreada o no.*

### Protección secundaria.

La primera protección no es suficiente para que la fibra soporte la manipulación que se produce en su instalación. Para ello se le dota de una segunda protección mecánica adicional, ésta es de material plástico.

La segunda protección siempre aparece coloreada según un código que se detalla en "Código de colores para fibras multimodo" e "Identificación de los tubos."

Dependiendo del diámetro de la protección secundaria o de la forma de aplicarla, las fibras se clasifican en:

#### a) Fibras con protección secundaria ajustada

La protección secundaria ajustada está formada por una o varias capas superpuestas de material plástico que forman una estructura compacta con la protección primaria. (figura 2.17)

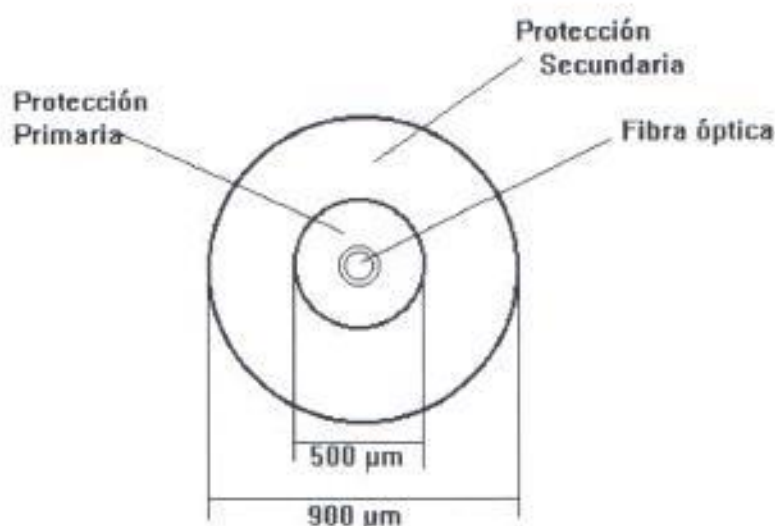
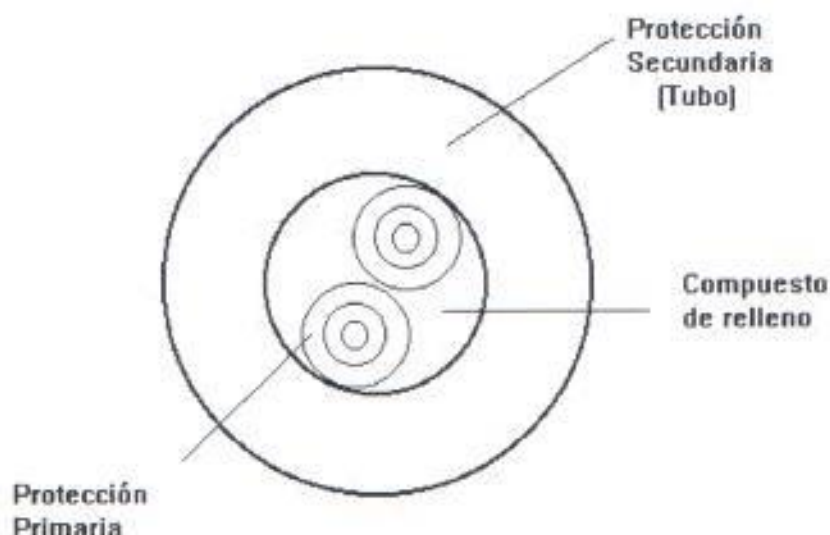


figura 2.17.- Fibras con protección secundaria ajustada

Normalmente se emplea tanto en los monomodo como en los multimodo.

#### b) Fibras con protección secundaria holgada.

En estas fibras la segunda protección no está íntimamente unida a la primera, es decir, la fibra queda libre en su interior. (figura 2.18)



**figura 2.18.- Fibras con protección secundaria holgada.**

Cuando la segunda protección es de este tipo también se la conoce como "tubo". Este tubo está relleno de un compuesto de relleno hidrófugo que, generalmente será silicona líquida.

Normalmente se emplea en las fibras monomodo.

#### 2.1.6. - Ventanas Ópticas

La mayoría de los sistemas de transmisión óptica funcionan actualmente en tres longitudes de onda que son las consideradas las ventanas ópticas.

La primera ventana óptica está ubicada entre los 0.8 y 0.9  $\mu\text{m}$  de longitud de onda, que está limitada por el pico de atenuación por 0.95  $\mu\text{m}$ , gran parte de las transmisiones ópticas funcionan en estas longitudes de onda, puesto que los láser semiconductores y los diodos electro luminiscentes de GaAlAs, utilizado como emisores, emiten en este margen de longitud. Como detectores son aplicables diodos de silicio.

La segunda ventana va desde 1 hasta 1.3  $\mu\text{m}$  estando finalizado por un pico de atenuación muy elevado a 1.39  $\mu\text{m}$ . los emisores y receptores ópticos para esta región espectral se pueden fabricar a partir de una serie de sistemas cristalinos ternarios y cuaternarios; también son apropiados detectores de germanio.

En la tercera ventana entre 1.5 y 1.7  $\mu\text{m}$  se miden las atenuaciones más pequeñas, entre 0.2 db/km en 1.55 $\mu\text{m}$ . en el caso de emisores y receptores +ópticos para esta tercera ventana está todavía todo abierto pareciendo posible por principio fabricar también aquí componentes idóneos a partir de una serie de compuestos semiconductores ternarios y cuaternarios.

Las dos regiones espectrales mencionadas en último lugar son especialmente interesantes para redes de comunicaciones ópticas debido a sus mínimas atenuaciones ya que entonces las secciones de repetición pueden ser sensiblemente más largas que en la primera región.

Con lo que se dispone de una amplia ventana en la región de longitud de onda entre aproximadamente 0.8 y 1.8  $\mu\text{m}$  para la transmisión de comunicaciones ópticas en guías de onda de vidrio en las que las atenuaciones máximas están situadas por debajo de los 2 db/km.

### 2.1.7. - Modos de Propagación

Modelos de propagación en F.O.

Los tres tipos básicos de F.O. utilizados en la actualidad son :

- Fibra monomodo de índice escalonado.
- Fibra multimodo de índice escalonado.
- Fibra de índice graduado.

#### 2.1.7.1.-Fibra monomodo de índice escalonado.

El comportamiento físico de esta fibra recuerda al de una guía de onda circular de microondas. Ello se debe a que el diámetro del núcleo es del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la radiación emitida dentro de él. El número de modos que puede soportar una fibra de índice escalonado disminuye drásticamente al reducirse el diámetro hasta llegar a la unidad. De aquí proviene el nombre de esta fibra.

La fibra monomodo de índice escalonado se compone de un núcleo de vidrio de base silicea alrededor del cual se dispone un revestimiento de vidrio, también de base silicea, de más de 30 micrómetros de espesor. (El revestimiento debe ser grueso, no sólo por razones mecánicas sino también para soportar parte de la propagación de energía).

Aunque frágil, difícil de alinear, empalmar y conectar, constituye el mejor "corredor de grandes distancias" para comunicaciones de alta anchura de banda. figura 2.19

## Indice Escalonado fibra monomodo



figura 2.19.-índice escalonado fibra monomodo

### 2.1.7.2.-Fibra multimodo de índice escalonado.

En este caso, se recubre un núcleo de vidrio relativamente espeso y muy homogéneo con un revestimiento de 5 a 50 micrómetros (vidrio o plástico). Se caracteriza por un gran diámetro del núcleo, hecho que hace que el acoplamiento de luz fuera y dentro de la fibra sea relativamente sencillo; algo similar sucede con el empalme y la conexión. La fibra posee una razonablemente buena resistencia mecánica. La contrapartida negativa es la desventaja de las limitaciones de la anchura de banda. figura 2.20

## Indice Escalonado fibra multimodo

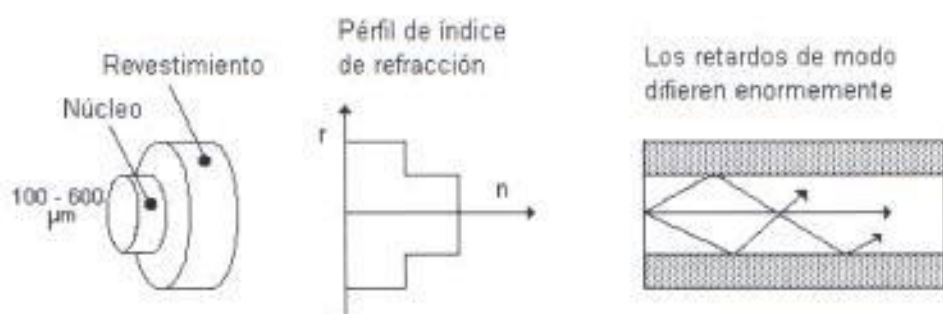


figura 2.20.-índice escalonado fibra multimodo

### 2.1.7.3.-Fibra de índice graduado.

Esta técnica constituye un avance fascinante. Su mecanismo se base en el mismo fenómeno físico que provoca la aparición de espejismos ante los viajeros del desierto. Cuando el índice de refracción de un medio transparente varía poco a poco, la luz se desplaza en trayectorias curvas.

En fibras de índice graduado, se introduce intencionadamente una reducción gradual del índice de refracción en el núcleo de vidrio.

El efecto de dispersión puede ser minimizado, y eliminado. El índice gradual cambia las trayectorias seguidas por las ondas que se propagan por la fibra. Desde el punto de vista de la óptica geométrica, la trayectoria tiene una forma sinusoidal, en la que la luz viaja más rápidamente junto a la superficie de separación núcleo/revestimiento que junto al centro de la guía, donde el índice de refracción es máximo.

### 2.1.8. - Tipos de Empalmes

Para planificar el sistema es necesario tener en cuenta, además del coeficiente de atenuación de los conductores de fibra óptica, los valores de atenuación de los empalmes y de los conectores. Precisamente teniendo en cuenta el frecuente requerimiento de tender cables de fibras ópticas con tramos cada vez más largos sin el uso de regeneradores. Además de cables de longitudes cada vez mayores y valores de atenuación de los conductores de fibra óptica cada vez más reducidos, también resulta necesario optimizar los empalmes y conectores en lo relativo a las atenuaciones de inserción de las respectivas uniones. Al hablar de conectores se dice que son conexiones separables y de empalmes, que son permanentes.

Para unir cables con un número relativamente bajo de conductores de fibra óptica se aplica, para empalmes individuales, la técnica del pegado y la soldadura. Para cables con gran número de conductores de fibra óptica se pueden utilizar equipos empalmadores múltiples. Estos son de particular importancia cuando se pretende efectuar los empalmes con la máxima velocidad posible.

#### 2.1.8.1.-Empalme mecánico simple

El método de empalme ilustrado en la figura 2.21 se emplea para empalmar conductores de fibra óptica con perfil gradual en la técnica de conductores huecos.

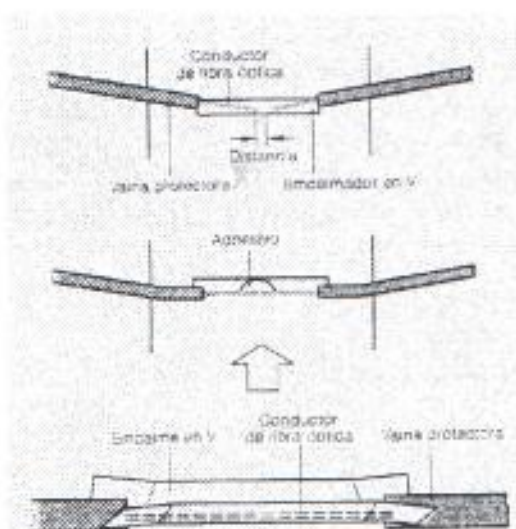


figura 2.21.-método de empalme mecánico simple

El principio del empalme se base sobre el auto centrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos en una chapa con forma de V.

Dos brazos giratorios fijan las vainas así como los conductores de fibra óptica y los llevan, tras ser cortados al largo exacto, a la posición de empalme sobre la chapa en forma de V del empalmador, produciendo tras un tensado preliminar su unión. La fijación permanente de los conductores de fibra óptica se logra con ayuda de un adhesivo de inmersión de rápido endurecimiento y otra chapa en forma de V la que por acción de la fuerza proveniente de unos resortes ejerce presión sobre los lugares de empalme. La resistencia a la tracción de la unión se obtiene fijando el empalmador en forma de V por aplastamiento a las dos vainas de los conductores.

El empalme mecánico simple es de fácil manejo. Dado que no se requiere una llama abierta para empalmar, el equipo sirve también para efectuar trabajos de empalme en un ambiente expuesto a peligro de explosiones.

La atenuación media de empalmes es de aprox. 0,2 dB (que depende, asimismo, de las tolerancias del conductor de fibra óptica).

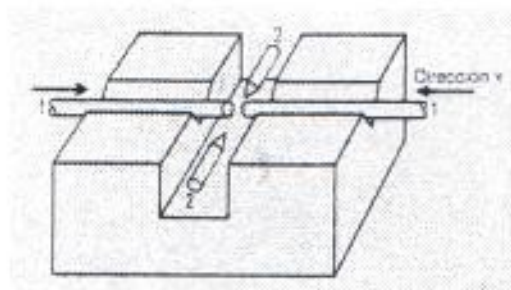
### **2.1.8.2.-Empalme térmico simple**

Para soldar conductores con una fibra óptica de vidrio de cuarzo con perfil gradual o de vidrio de varios componentes existe un equipo empalmador térmico cuyo manejo también es sumamente sencillo.

Para encender el arco se emplea una tensión alterna de alta frecuencia. Entre los electrodos se genera la descarga necesaria para efectuar el empalme. La tensión de superficie del vidrio fundido efectúa el auto centrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos, compensándose automáticamente un desplazamiento de hasta 10  $\mu\text{m}$  sin una atenuación adicional significativa.

Un mecanismo de corte incorporado en el equipo garantiza cortes de fracturas netas con caras lisas como un espejo y con errores de ángulo menores que 3°.

Gracias a la elevada precisión de las guías y de las buenas características de auto centrado del arco, el ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal es el único que resta hacer (figura 2.22). El proceso de ajuste se puede observar con el auxilio de un microscopio de proyección.



**figura 2.22.-método de ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal**

Ambos conductores de fibra óptica se ajustan haciendo coincidir dos marcas de ajuste en el microscopio de proyección y luego se puede activar el proceso de soldadura accionando el correspondiente pulsador, tras lo cual los procesos de soldadura preliminar, unión de los conductores de fibra óptica y soldadura definitiva se desarrollan en forma automática.

Tras terminar el proceso de empalme, los conductores de fibra óptica se colocan en un módulo de empalme que, además, los protege.

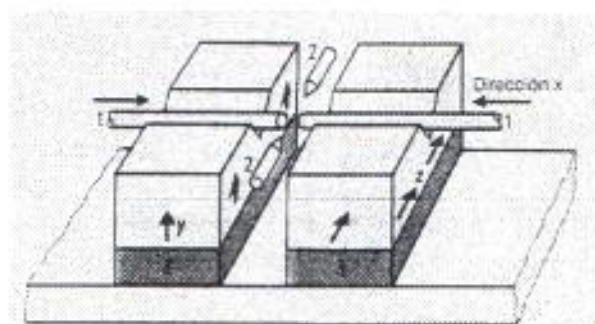
El equipo lleva incorporado un porta módulos o soporte en condiciones de contener diferentes módulos de empalme. Estos pueden ser metálicos o cassettes de material plástico.

Una batería de plomo fácilmente intercambiable suministra la energía eléctrica necesaria. Con su carga completa, la batería permite realizar más de 150 empalmes.

La atenuación media del empalme se encuentra en la gama de 0.1 hasta 0.2 dB (y depende además de las tolerancias de los conductores de fibra óptica).

### **2.1.8.3.-Empalme térmico simple de conductores de fibra óptica monomodo**

Para empalmar núcleos con un diámetro de unos 9  $\mu\text{m}$  se requiere una precisión y cuidados tan elevados que ya no alcanza la exactitud de los equipos empalmadores usuales para conductores de fibra óptica con perfil gradual. Por eso existe un equipo empalmador especialmente desarrollado para conductores de fibra óptica monomodo, el cual, para alcanzar pequeños valores de atenuación en el empalme, permite realizar el ajuste de los conductores de fibra óptica en tres ejes (figura 2.23).



**figura 2.23.-método de ajuste en tres ejes**

El proceso de soldadura se desarrolla automáticamente en el mismo orden que para conductores de fibra óptica con perfil gradual; Un potenciómetro permite graduar el recorrido de avance en forma continua entre 0 y 20  $\mu\text{m}$ . Contrariamente al conductor de fibra óptica con perfil gradual, el efecto autocentrante producido por las tensiones superficiales del vidrio fundido resulta un inconveniente para los conductores de fibra óptica monomodo. Los movimientos resultantes de la masa de vidrio en fusión en la zona de unión provoca curvaturas del núcleo que pueden producir altas atenuaciones en el empalme. Es posible evitar este efecto con tiempos de soldadura breves, fractura en ángulo recto con error menor que 1 grado y baja corriente de soldadura.

En el equipo de empalme se encuentra integrado un dispositivo de corte para conductores de fibra óptica monomodo, el cual garantiza cortes de alta precisión con errores de ángulo menores de 1 grado.

Las atenuaciones en el empalme son menores de 0.1 dB (debiéndose tener en cuenta las tolerancias de los conductores de fibra óptica).

## 2.2. - Conversión Electro-Óptica de Señales

### 2.2.1. - Elementos Emisores.

Además de suministrar energía suficiente, a un precio razonable, durante una vida útil larga y fiable, y de poseer una gran eficiencia, el emisor debe radiar a una longitud de onda que coincida con un mínimo de pérdidas de la fibra.

Los emisores ópticos deben:

- Presentar una característica lineal en lo que se refiere a la potencia de salida en relación con la intensidad de la corriente de excitación.
- Emitir en un ancho de banda reducido.
- Ser capaz de transmitir dígitos binarios a altas velocidades.

Todas estas restricciones y necesidades limitan a tres los tipos e emisores adecuados:



- Diodos electroluminiscentes (LED).
- Láser de semiconductor.
- Láser de estado sólido.

Debido a que son los más utilizados, sólo se estudiarán los dos primeros tipos de emisores. Los láser de estado sólido se convertirán probablemente en una fuente importante en el futuro.

### 2.2.1.1. - Diodos led

En su forma básica, un LED es una unión p-n polarizada directamente.

El objetivo del diodo es proporcionar una fuente de luz para la transmisión por fibras, y uno de los mecanismos de pérdida sucede exactamente entre el dispositivo y el extremo de la fibra.

Estos dispositivos tienen la misma constitución que los PIN (figura. 2.24), sólo que se alimentan en altos voltajes entre 50 y 400 voltios y en sentido directo.

Este potencial exterior fuerza la inyección de electrones de la región n hacia la intrínseca, i, y de huecos de p hacia i, en la cual se recombinan los pares electrón hueco produciéndose fotones de energía  $h\nu$  aproximadamente igual a la del gap.

Para la emisión de luz se emplean semiconductores directos, por tanto, para estos diodos no son adecuados ni el germanio ni el silicio, sino compuestos cuaternarios y heteroestructuras por su mayor eficiencia cuántica. Dependiendo de los materiales y proporciones se obtiene con buen ajuste la máxima emisión en la longitud de onda deseada tanto en visible como infrarrojo dentro del margen de posibilidades.

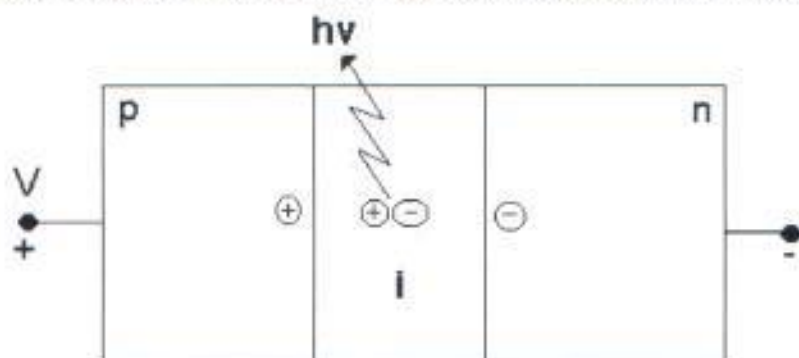
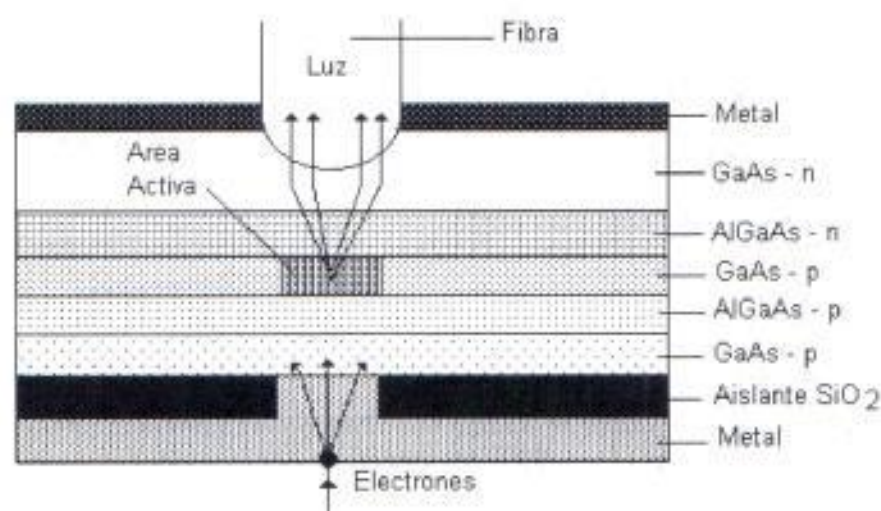


Figura 2.24.-fotodiodo LED de unión simple

Los LED son dispositivos de emisión espontánea con una anchura de banda de 50nm.

Heteroestructuras - Los LED descritos, de simple unión p-n son poco eficientes. Un tipo de LED de estructura múltiple y heterogénea es el diseñado por C.A. Burrus que se emplea mucho en alimentación de fibras ópticas por su alta eficiencia, y porque el área activa es muy pequeña y la luz sale muy concentrada como para entrar directamente en la fibra. La figura 2.25. muestra la estructura y componentes. Las láminas son muy delgadas (1 a 2 micrómetros) y entre la zona activa y la fibra pueden insertarse micro lentes que concentren la luz emitida.

La desventaja que presenta es una anchura espectral de emisión relativamente grande. En general, las anchuras espectrales generadas por los LED suelen ir de los 100 a los 400nm.



**Figura 2.25.-fotodiodo LED de estructura múltiple**

Modulación.- Por medio de dispositivos electrónicos adecuados se puede modular la corriente de inyección con lo cual resulta modulada la intensidad de emisión de luz entre cero y el máximo a frecuencias de giga ciclos.

### 2.2.1.2. - Diodos Láser

La otra fuente importante de luz es el láser de inyección de semiconductor. Su mecanismo es similar al de los LED, pero funciona con emisión estimulada tipo láser lo que produce una característica de salida diferente. En la figura 2.26 se muestra la relación entre la potencia óptica de salida en función de la corriente de entrada de excitación, y en ella pueden observarse tres particularidades destacadas. Primero, la curva tiene dos zonas bien diferenciadas, la que está bajo el umbral y la que está por encima. El nivel umbral está estrechamente relacionado con la estructura del dispositivo. Por debajo del umbral, el comportamiento del dispositivo es similar al de un LED y la salida presenta una anchura espectral bastante dilatada; en tanto que sobre el umbral, el dispositivo funciona por emisión estimulada y la anchura espectral se reduce enormemente. La segunda particularidad notable es la gran pendiente de la curva por encima de la corriente umbral; esto hace que el

dispositivo sea muy rápido, rapidez que se aprovecha en los sistemas digitales de alta velocidad. Por último, la característica de salida presenta no linealidades por encima del umbral, estas alinealidades se llaman sinuosidades o pliegues y se cree que son debidas a ligeros cambios en las trayectorias de la corriente a través de la región activa, pudiéndose eliminar utilizando una configuración en tira.

### Relación entre la potencia óptica de salida y la corriente para un láser y un LED

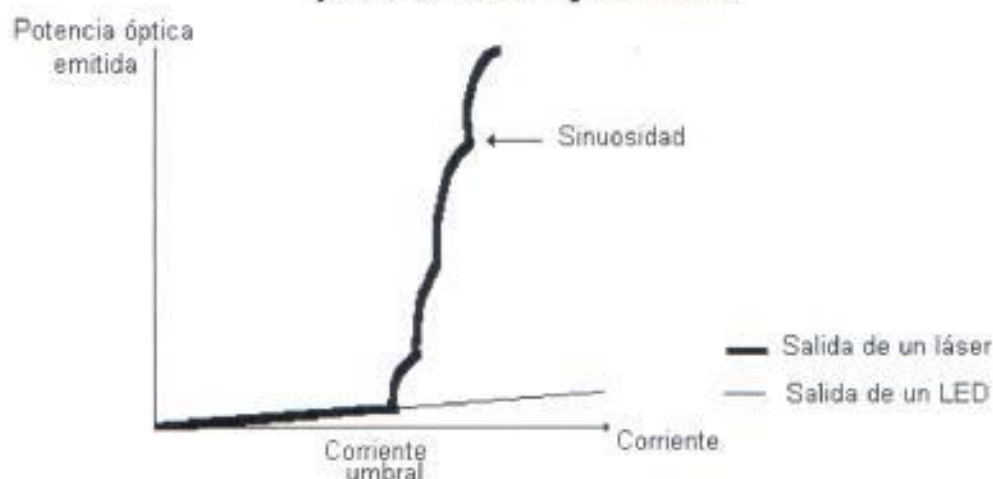


figura 2.26.-relación entre la potencia óptica de salida y la corriente para un láser y un LED

#### 2.2.2. - Elementos Receptores

Existen muchos dispositivos disponibles para detectar energía a las frecuencias ópticas. Algunos son válvulas Electrónicas de vacío y otros son de estado sólido, ya sean semiconductores o no. Existen también algunos efectos sensibles a la luz empleados para convertir la luz incidente en una señal eléctrica proporcional.

En los sistemas de comunicaciones, la potencia del haz incidente puede ser extremadamente pequeña, del orden de  $10e-14$  vatios, lo que impone exigencias adicionales a los posibles detectores. Aunque se han utilizado diversos tipos de dispositivos, y existe una amplia investigación y desarrollo de técnicas nuevas, limitaremos nuestra atención al detector semiconductor PIN (Positive-Intrinsic-Negative) y a su dispositivo asociado: el fotodiodo de avalancha (FDA).

Para que un detector sea apto para utilizarlo en comunicaciones por fibra óptica, debe tener las siguientes características:

- ser muy sensible,
- responder muy rápidamente para que pueda conseguir grandes anchos de banda,
- tener una eficiencia alta de conversión entre energía luminosa y eléctrica,

- tener baja potencia de ruido a la salida y
- buenas propiedades para captar la luz.

Además:

- debe trabajar a tensiones bajas,
- ser de fácil manipulación,
- robusto e insensible a los cambios en las condiciones ambientales,
- tener una gran duración útil,
- una buena fiabilidad y
- ser económico.

Estas especificaciones ideales son obviamente inalcanzables, por lo que en cualquier dispositivo real son necesarios algunos compromisos, teniéndose que establecer prioridades entre los diversos parámetros en función de la aplicación deseada.

En la foto detección, la luz incide sobre un material semiconductor que, a causa de la separación energética entre las bandas de valencia y de conducción, convertirá la energía luminosa en energía eléctrica.

#### **Velocidad de respuesta y eficiencia cuántica.**

Cuando hablamos del diodo PIN, vimos que los fotoelectrones se mueven a través de la capa de depleción a una velocidad media e desplazamiento provocada por la tensión aplicada. El tiempo de tránsito correspondiente limita la velocidad de respuesta, y en consecuencia el ancho de banda, del dispositivo. Si la capa de depleción es estrecha puede conseguirse un tiempo de respuesta pequeño; sin embargo, la sensibilidad del dispositivo está relacionada con su eficiencia cuántica, y dicha eficiencia se hace mayor al incrementar la anchura de la zona de depleción, por lo que existe un conflicto entre estos dos parámetros. En los detectores de Si la anchura de la capa de depleción es aproximadamente de 50 micrómetros y el tiempo de respuesta es del orden de 50 ns, mientras que en los de GaAs (arseniuro de galio) la capa de depleción puede ser mucho más estrecha (dado que el coeficiente de absorción de fotones en el GaAs es mayor que el del Si), por lo que tienen un tiempo de respuesta mucho más rápido: de unos 40 ps. Si la capa de depleción es muy estrecha, los fotoelectrones pueden inducirse en la región circundante de difusión y, antes de ser arrastrados a través de la capa de depleción, tendrán que propagarse desde dicha región de difusión, con la reducción consiguiente en la velocidad de respuesta.

#### **Fiabilidad.**

Los detectores de Si se han fabricado durante muchos años para ser utilizados en el intervalo de longitudes de onda que van de 0,8 a 0,9 micrómetros, y las mejoras en la configuración y en las técnicas de producción utilizadas han hecho posible la aparición en el mercado de dispositivos con vidas útiles proyectadas de muchos años, por lo que fácilmente pueden conseguirse dispositivos de alta fiabilidad. En

los dispositivos de GaAs, que son utilizados para longitudes de onda de 1,3 micrómetros, la experiencia es más limitada, aunque se prevén de nuevo largas vidas útiles. La razón que limita al Si a la región de las longitudes de onda más cortas es que su salto energético (banda prohibida) es de 1,1 eV, y la energía de los fotones con longitudes de onda superiores a unas 1,1 micrómetros tienen una energía inferior a dicho salto. A longitudes de onda de 1,3 micrómetros, que se están haciendo cada vez más atractivas dado el desarrollo de guías con muy bajas pérdidas para dicho valor, el Ge tiene una alta sensibilidad aunque, dado que los coeficientes de ionización de los electrones y de los huecos son casi iguales, el nivel de ruido es alto cuando se compara con el que se puede conseguir con el GaAs, el InP (fosforo de Indio) o algunos compuestos más complejos tales como el InGaAs (arseniuro de galio e Indio).

### **Ruido.**

Las fuentes de ruido de los dispositivos PIN y FDA son bien conocidas.

En los diodos PIN el ruido está generado por:

- fluctuaciones aleatorias de la propia foto corriente,
  - radiación de fondo generada por otras fuentes de luz distintas a la deseada, y
  - corriente generada por el dispositivo en ausencia de luz, esto es: la corriente de oscuridad.
- 
- El ruido producido por los dos últimos puntos, puede hacerse extremadamente pequeño en los dispositivos de Si,
  - quedando el ruido de impacto (el primero).

En los FDA existe otra fuente de ruido: la debida a la aleatoriedad del proceso de ganancia.

Dicho proceso amplifica el ruido de impacto.

La elección entre un diodo PIN y un FDA dependerá de las prioridades concedidas a la sensibilidad y a la relación señal / ruido, así como a las restricciones del funcionamiento.

Un FDA puede ser mucho más sensible que un PIN si su ganancia media interna es alta; sin embargo, el ruido de impacto en algunos dispositivos se incrementa mucho más rápidamente que la ganancia.

En la práctica, en aquellas aplicaciones en las que se necesita una buena relación señal/ruido, se utilizan los diodos PIN; pero si se concede más importancia a la sensibilidad, sería más apropiado un FDA.

Comparados con los diodos PIN, los dispositivos de avalancha tienen unas condiciones de funcionamiento menos atractivas: necesitan una tensión mucho mayor, posiblemente del orden de varios cientos de voltios, y son sensibles a las

variaciones de temperatura, lo que significa que se precisa una circuitería más complicada para que puedan compensarse los posibles cambios de la temperatura.

### 2.2.2.1. - Fotodiodo Pin

Este diodo consta de unas secciones p y n altamente "dopadas" separadas por una capa de bajo nivel de impurezas (capa intrínseca), tal y como queda mostrado en la figura 2.27



**Figura 2.27.-fotodiodo PIN**

En las zonas fronterizas p - i y n - i se produce una depleción que se extiende a toda la zona intrínseca donde se neutralizan los portadores mayoritarios quedando cargas negativas en p y positivas en n, con lo cual se reproduce la anterior situación de la unión p-n con la ventaja, entre otras, de que la zona intrínseca es aquí mucho más ancha y puede recibir mucha más luz y producir mayor intensidad de corriente.

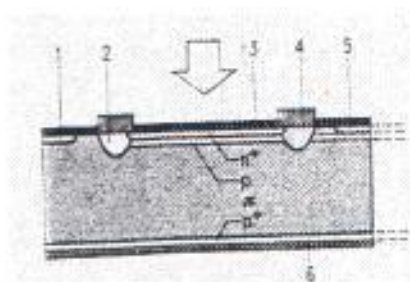
Se fabrican de Si y Ge dopados p y n, y también de cristales mixtos. Tanto los PIN como los fotodiodos no polarizados exteriormente, se emplean como células solares para transformar la radiación solar en corriente eléctrica, y en los satélites artificiales para suministrar alimentación eléctrica a todos sus dispositivos.

### 2.2.2.2. - Fotodiodo avalancha

Son detectores p - n que se alimentan en sentido inverso a altos voltajes ( entre 40 y 400 voltios), frente a los PIN que operan a 8 o 10 voltios, y producen un gran efecto multiplicador debido a que los electrones fuertemente acelerados producen por choque con los átomos del material nuevos electrones libres que a su vez multiplican el efecto. Un solo electrón acelerado puede dar lugar a 100 electrones secundarios por efecto de avalancha o cascada. Las respuestas en los fotodiodos

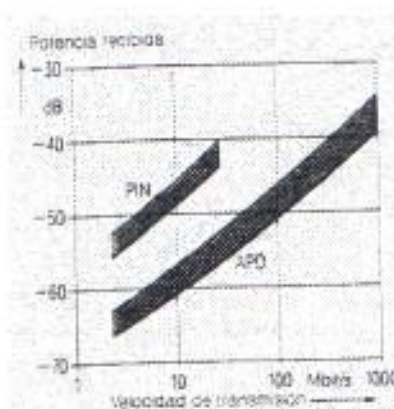
ordinarios p - n son corrientes eléctricas entre 0,5 y 0,8 amperios / vatio, y en los de avalancha entre 25 y 100A/W.

El FDA es más sensible que el diodo PIN, pero su nivel de ruido también es mayor. En la figura 2.28 se ilustra el corte esquemático de un fotodiodo avalancha de silicio. Por razones técnicas en la actualidad casi todos estos diodos se realizan con una estructura p<sup>+</sup>πp.



**figura 2.28.-corte esquemático de un diodo Avalancha de Silicio**

En la figura 2.29 se compara la sensibilidad de receptores con fotodiodos PIN y de avalancha de silicio, con una tasa de error de bits de  $10^{-9}$ .



**figura 2.29.-sensibilidad de un fotodiodo PIN comparado con uno de avalancha (PD)**

En la figura 2.30 se ilustra el corte esquemático de un fotodiodo avalancha de InGaAs/InP. En forma similar al fotodiodo PIN, la iluminación se realiza a través de sustrato pero la juntura pn no está en la capa absorbente de InGaAs si no en la In. Por ello se forma una zona con un campo eléctrico de elevada intensidad en la capa InP n<sup>-</sup> donde se puede producir la rotura por avalancha con mayor facilidad. Para concentrar las lagunas producidas por los fotones hace falta ajustar solamente un campo eléctrico de baja intensidad.

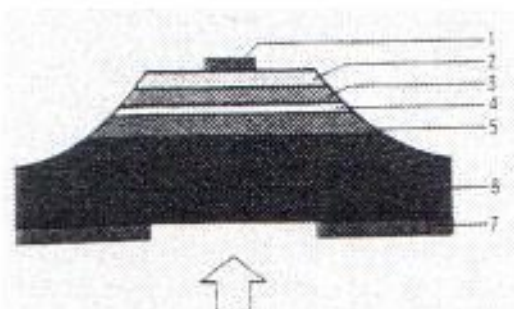


figura 2.30.-corte esquemático de un fotodiodo de Avalancha de InGaAs/InP

### 2.2.3. – Repetidores y Amplificadores

Hay amplificadores ópticos y electrónicos . La mayoría de los sistemas de fibra utilizan los electrónicos , convirtiendo primero la señal óptica en eléctrica y luego amplificándola para entregarla luego a la fibra a través de un transmisor que forma la última etapa del dispositivo .

Los repetidores están conectados eléctricamente en serie para poder transmitir la energía eléctrica desde uno o ambos extremos del sistema .

Los repetidores y regeneradores electro ópticos están formados por un receptor y un transmisor juntos en una misma unidad. El terminal de entrada desempeña las funciones de un receptor, el terminal de salida hace las funciones de un transmisor normal.

Debido a que contiene componentes electrónicos sensibles los regeneradores y repetidores requieren condiciones de operación controladas . Las compañías telefónicas ubican los receptores dentro de las centrales o de otras instalaciones. Los repetidores instalados dentro de estos ambientes controlados , requieren tener sellamiento para protección ambiental , incluyendo control de temperatura y humedad.

Como complemento a los detalles sobre los receptores y transmisores , hay que dar énfasis en los siguientes Aspectos:

1. Los repetidores y regeneradores son diseñados para operar a una velocidad y en un formato de datos específicos. Pueden contener circuitos de temporización que generen señales de reloj a tasas determinadas , y su electrónica puede ser optimizada para operar a esa tasa . Los circuitos hechos para operar a 34Mbps pueden tener componentes muy lentos para 155Mbps o mas. En resumen los repetidores y regeneradores no son transparentes al formato de la señal
2. La regeneración puede ser importante en sistemas con distancias largas , en los cuales el ruido y la dispersión del pulso pueden acumularse para oscurecer la señal. La dispersión del pulso es el problema más importante en muchos casos, pero un diseño cuidadoso para controlar la dispersión debería considerarse el uso de amplificadores ópticos



3. La regeneración verdadera está limitada a los sistemas digitales, donde los impulsos hacen posible la discriminación entre el ruido y la señal

Siempre que los pulsos puedan ser reconocidos como tales, el regenerador puede producir nuevos "1" con la misma temporización e información de las señales.

Los receptores sin embargo, no tienen forma de remover el ruido de las señales analógicas, ya que los repetidores lo amplifican.

### **Amplificador Óptico**

Un amplificador óptico toma una señal óptica debilitada y la amplifica directamente generando una señal más fuerte sin convertirla a eléctrica. Sin embargo no filtran el ruido de la señal, ya que lo amplifica junto a ella. Son mucho más sencillos y su demanda se está incrementando. Son costoso todavía pero se avizora su producción masiva que bajará los costos notablemente. Los amplificadores ópticos ofrecen alta confiabilidad, por que contiene pocos componentes.

Los amplificadores aumentan el nivel de la señal óptica internamente, sin convertir la señal a la forma eléctrica. Estos amplificadores operan con el principio de la emisión estimulada que es la base de los láser, y son esencialmente láser de propósitos especiales diseñados para amplificar señales de una fuente externa en vez de generar su propia luz. Amplifican un haz de luz leve que ingresa por el lado de entrada, y produce una señal fuerte que sale por el otro lado.

Se han desarrollado dos tipos básicos de amplificadores ópticos. La fibra óptica dopada con elementos que amplifican la luz a ciertas longitudes de onda están encontrando muchas aplicaciones en sistemas de distancias mayores. La longitud de onda de operación depende del elemento dopante. Los amplificadores ópticos de semiconductor son láser de semiconductor con sus terminales revestidos para suprimir las reflexiones que puedan encontrarse con el elemento, y que amplifica la luz que pasa a través de ellos.

Un aspecto crítico para el uso de amplificadores ópticos es su longitud de onda de operación, la cual determina su compatibilidad con los sistemas existentes y como pueden ser insertados en los sistemas nuevos. El mayor interés se centra en las dos ventanas de menor atenuación: 1300 y 1550nm. La mayoría de sistemas instalados operan a 1300nm, pero los mejores amplificadores ópticos son para la ventana de 1550nm. Como resultado, los diseñadores de sistemas nuevos de alto desempeño y larga distancia están conmutando a 1550nm.

Los amplificadores de fibra óptica son fibras con núcleo dopado con elementos que amplifican la luz con una determinada longitud de onda. Los mejores amplificadores de fibra desarrollados son los dopados con erbio que da una ganancia entre 1520 y 1569nm.

En los sistemas con repetidores los amplificadores reemplazan a los regeneradores ópticos, haciendo posible que un repetidor tenga menos componentes, sea más confiable e independiente de la velocidad en bits.

## 2.3. - Tipos de Fibra Óptica

Hay diferentes tipos de fibras ópticas y su clasificación varía según el uso que vaya a tener, tenemos por ejemplo:

### Fibras aéreas

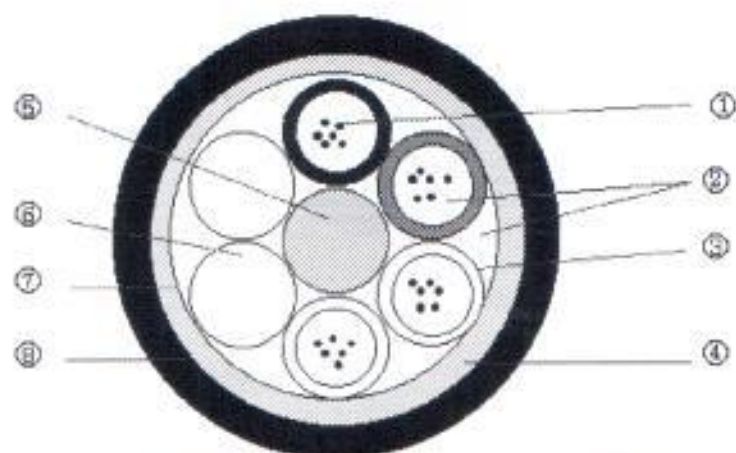


figura 2.31.-constitución del cable aéreo

### Característica y Aplicaciones:

Construcción Figura Ocho para uso con ferretería de instalación común.

Construcción Figura Ocho para uso con ferretería de instalación común. Disponible en tres opciones:

- Acero Inoxidable (SS). Trenzado con alambre de acero inoxidable cuando es necesario un cable con la mayor supervivencia mecánica y ambiental.
- Acero Galvanizado (GS). Es un producto más competitivo cuando los requerimientos no exigen tanta robustez.
- Mensajero Dieléctrico (DS). Construcción de alto rendimiento, puede ser instalado cerca de cables de electricidad.

También disponible en figura circular para uso sobre vanos más extensos o al lado de otros cables de electricidad.

Rango de temperatura de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .

*Nota: Al pedir cables aéreos es necesario obtener información de los vanos de instalación (distancia entre postes), viento en el área, temperatura ambiental (si hay hielo que se acumula).*

### Fibras subterráneas

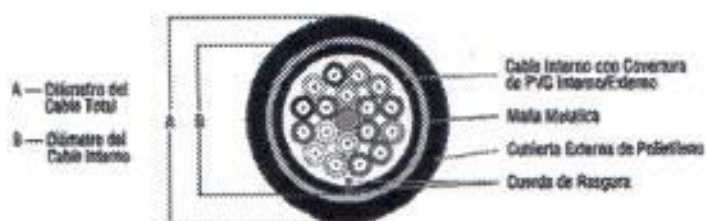


figura 2.32.-constitución del cable subterráneo

#### Característica y Aplicaciones:

Este cable puede ser usado tanto para ser instalado bajo tierra como de forma aérea.

Capa de acero corrugado protege las fibras ópticas del cable contra roedores y provee una protección adicional para el uso en instalación aéreas donde se use el método de devanado.

La armadura es fácil de remover con la ayuda de un hilo interno de arámida dejando el cable expuesto para uso externo e interno, un cable anti-inflamable el cual se puede conectar directamente sobre los subcables.

La armadura es una opción que puede ser aplicada a la mayoría de los conectores estándares.

El cable puede ser usado para instalaciones directas compatible con la mayoría de los conectores estándares.

Opcional: armadura dieléctrica (FRP) disponible para protección contra ratas donde propiedades dieléctricas, peso liviano y flexibilidad son requeridas. Beneficios:

- FRP provee protección efectiva contra daños causados por roedores.
- FRP es ideal para uso donde el cable está expuesto a túneles sub-terráneos, ductos, etc.

### **Fibras secas**

Es la fibra ideal para cubrir distancias de algunos kilómetros y poca cantidad de pares de fibras. Viene en versión multimodo y monomodo. Si bien es mas cara que la fibra con gel, posee varias ventajas frente a ésta, como ser:

- Cable mas flexible, más fácil de pasar por ductos con curvas
- Más resistente a la tracción (típico 100kpsi)
- Permite curvaturas mas pequeñas
- Pueden ser utilizadas en ductos verticales
- Más fácil y robusto para conecto rizar, costo de conectorización mas bajo

### **Fibras con gel**

Se utiliza para cubrir grandes distancias y muchos pares. Fundamentalmente utilizada por para unir ciudades. La ventaja frente a la fibra seca es su menor precio por metro.

#### Características de la fibra con Gel

- Cable mas rigido debido al tensor interno, más difícil de pasar por ductos
- Menor resistente a la tracción (típico 50kpsi)
- No pueden ser utilizadas en ductos verticales
- Deben ser limpiadas con solventes, costo de conectorización mas caro

## Capítulo III

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y ELECCION DE LA RUTA DE LA RED DE BANDA ANCHA

#### 3.1. - Criterios para seleccionar los mercados a cubrir por la red de banda ancha

Los criterios que tomaremos en cuenta para la definición de los mercados a servir se basan principalmente en la densidad de las empresas que existen en las ciudades de nuestro país; Además tomaremos en cuenta la potencialidad de estas empresas, es decir, las seleccionaremos por: sus ventas, su patrimonio y su activo basándonos en información obtenida en la Superintendencia de Compañías.

La superintendencia de compañías elabora un informe anual de las compañías más importantes del país. Del último informe presentado nosotros obtuvimos las 1000 compañías más importantes cuyo "peso" es tal que el monto de sus ventas anuales representan alrededor del 75% del total de las ventas del conjunto de todas las compañías del país (alrededor de 23.760).

Estas 1000 compañías se encuentran en mayor proporción dedicadas a la industria manufacturera (32%), al comercio (30%), y a la agricultura (11,2%); y en proporción menor a servicios a empresas (9,8%), transporte (4,6%) y construcción (4,6%).

El mayor número de compañías está domiciliado en las provincias de Pichincha 451, y, Guayas 396, en Azuay 47, Manabí 30, El Oro 18. en las demás provincias el número es relativamente menor.

Para realizar esta selección hemos dividido nuestros criterios en dos grandes grupos: Criterios de Mercado y Criterios Técnicos.

##### 3.1.1.-Criterios de Mercado

Hemos definido tres criterios en los cuales nos basaremos para la elección de los mercados.

- **Densidad de empresas.** - Como primer criterio para definir un posible mercado a servir vamos a considerar el número de empresas existentes en cada una de las ciudades del país. Para ello tomamos una muestra representativa de las empresas existentes, seleccionando de entre ellas las empresas que tengan mayores ventas, patrimonios y activos, es decir, las económicamente más rentables. Desarrollamos los correspondientes gráficos comparativos separándolos por regiones, en los cuales se muestra el número de empresas en cada una de las ciudades.

- **Densidad de agencias por ciudad.**- Una vez visto el número de empresas en cada ciudad entonces un segundo criterio será si dichas empresas tienen agencias o sucursales en otras ciudades ya que si fuere este el caso se tendría tráfico fluyendo entre estas ciudades. Para ello seleccionaremos de las 1000 empresas a aquellas que tengan como mínimo 3 sucursales en diferentes ciudades.

Para el desarrollo de este criterio tomamos en cuenta los resultados de la matriz de tráfico entre ciudades ( tabla C-1 Apéndice C). En la matriz de tráfico entre ciudades decimos que la suma de las filas de esta matriz nos da el tráfico entrante a dicha ciudad y por lo tanto la capacidad que necesita esta ciudad.

Entonces el tráfico entrante a cada ciudad es directamente proporcional al número de agencias existentes. Para la realización de esta matriz tomamos una empresa en determinada ciudad y vemos si dicha empresa tiene sucursales en otras ciudades. Si es así asignamos un canal de 64 Kbps. entre dichas ciudades con excepción de las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca a las que a cada enlace se le asigna un canal de 128 Kbps., esta diferencia se debe a que va a existir una mayor cantidad de tráfico entre estas.

- **Ubicación Geográfica.**- En este criterio tomaremos en cuenta el número de ciudades que se le podría dar servicio en el trayecto de llegada a un determinado mercado, por ejemplo si decimos que daremos servicio a la ciudad de Esmeraldas entonces tendríamos que analizar a que ciudades se le podría dar servicio en el camino que llega a esta ciudad.

### 3.1.2. - Criterios Técnicos

Una vez definidos los criterios de mercado pasaremos a ver los criterios técnicos para la elección de los mercados a servir.

- **Clasificación de las vías.**- Uno de los aspectos importantes para la selección de los mercados sería la ruta que une a cada uno de estos es decir, tendremos que analizar las facilidades que se brinda para el tendido de la fibra óptica en cada tramo de carretera, para esto realizamos un estudio detallado de cada uno de los tramos analizando a que tipo de carreteras pertenecen seleccionándola si la carretera es de tipo 1, 2 y 3 según clasificación del MOP.
- **Traffic generado.**- Para la elección de un mercado este criterio es muy importante porque se refiere al número de enlaces (intercambio de datos) que un mercado tiene con los demás.

Consideraremos que en las ciudades que generan tráfico menor a un E1 (2.048Mbps), se les dará acceso mediante frame relay, mientras que a ciudades que generan más de un E1 se les dará acceso mediante ATM.

### 3.1.3. - Definición de los mercados a servir

Para definir los mercados analizaremos las ciudades según cada uno de los criterios expuestos anteriormente

Empezamos realizando un análisis del número de empresas en cada ciudad para ello hemos dividido el país en dos regiones: Costa y Sierra.

Cubriremos inicialmente la región costa sacando una muestra del número de empresas en cada ciudad principal de esta región. Con la información obtenida hemos realizado una base de datos donde consta el número de empresas muestreadas, con estos datos hemos desarrollado un gráfico representativo de estos valores.

Analizando el gráfico de la región costa ( gráfico C-1 Apéndice C) podemos apreciar que hay una concentración tremenda de empresas en ciertas ciudades puntuales de esta región.

Listaremos entonces las ciudades de esta región que tienen un número de empresas considerablemente alto:

- Babahoyo
- Bahía
- Balzar
- Chone
- Daule
- El Empalme
- Esmeraldas
- El Triunfo
- Guayaquil
- La Troncal
- Libertad
- Machala
- Manta
- Milagro
- Naranjal
- Portoviejo
- Quevedo
- Santo Domingo
- Salinas
- Santa rosa
- Ventanas

Haciendo el mismo análisis para la región sierra, del gráfico C-2 (Apéndice C) obtenemos las ciudades de esta región con mayor densidad de empresas.

- Ambato
- Azogues
- Cañar
- Cuenca
- Guaranda
- Ibarra
- Latacunga
- Loja
- Otavalo
- Quito
- Riobamba

- Tulcán.

Después del análisis ya realizado, ahora nos encargaremos de ver las sucursales de las empresas en las diferentes ciudades o mercados, para lo cual analizaremos Los resultados obtenidos de la matriz de tráfico (tabla C-1) de la cual generamos los gráficos C-3 y C-4.

Analizando el gráfico C-3 (Apéndice C) correspondiente a la región costa observamos que hay ciudades en las antes mencionadas que generan tráfico muy por debajo de un E1 es decir 32 canales de 64 Kbps , por lo tanto estas ciudades no serían consideradas inicialmente como mercados.

Como resultado de el gráfico C-3 (Apéndice C) las ciudades de la región Costa que deberían ser consideradas como mercados serían:

- Babahoyo
- Bahía
- Balzar
- Chone
- Daule
- El empalme
- Esmeraldas
- El Triunfo
- Guayaquil
- La Troncal
- Machala
- Manta
- Milagro
- Naranjal
- Naranjito
- Portoviejo
- Quevedo
- Santa Rosa
- Santo Domingo

Para la Región sierra del gráfico C-4 (Apéndice C) quedan seleccionadas las siguientes ciudades:

- Ambato
- Azogues
- Cañar
- Cuenca
- Guaranda
- Ibarra
- Latacunga
- Loja



- Otavalo
- Quito
- Riobamba
- Tulcán.

Tomando en cuenta el criterio de ubicación geográfica vamos a analizar las ciudades elegidas anteriormente. Las ciudades más alejadas geográficamente y que en sus vías de acceso, no existe ninguna otra ciudad que pueda ser considerada como mercado son (Ver figura 3.1) : Esmeraldas, Bahía, Chone, Loja. Entonces estas ciudades a pesar de ser mercados que generan buen tráfico no van a ser consideradas inicialmente como mercados.



**Figura 3.1.- Ciudades no consideradas como mercados**

Con respecto a la región Oriental del país, esta no va a ser tomada en cuenta en principio debido a que no cumple el criterio de estados de las vías.

Basándonos en los criterios ya mencionados, las ciudades seleccionadas son:

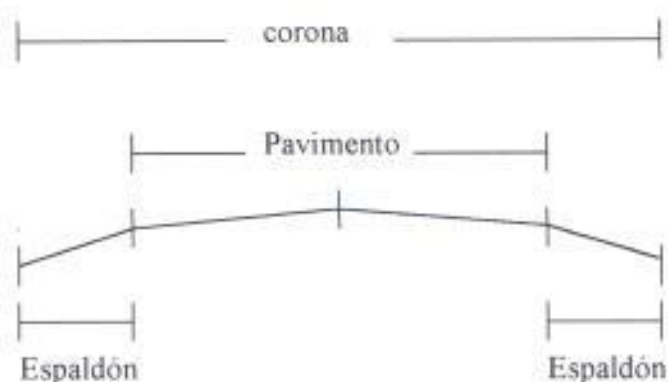
- AMBATO
- AZOGUES
- BABAHOYO
- BALZAR
- CAÑAR
- CUENCA
- DAULE
- EL EMPALME
- EL TRIUNFO
- GUARANDA
- GUAYAQUIL
- IBARRA
- LA TRONCAL
- LATACUNGA
- MACHALA
- MANTA
- MILAGRO
- OTAVALO
- PORTOVIEJO
- QUEVEDO
- QUITO
- RIOBAMBA
- SANTA ROSA
- SANTO DOMINGO
- TULCAN

### 3.2.- Ruta del cable de fibra óptica

#### 3.2.1.- Características de una Carretera

Una carretera está compuesta de varias partes ( ver figura 3.2 ):

- Corona
- Pavimento
- Espaldón



**Figura 3.2.- Partes de una carretera**

Los Espaldones son las fajas laterales contiguas a la calzada y comprendida entre sus orillas y los hombros. Tienen como fines principales los siguientes:

- Dar seguridad al usuario de la vía al proporcionar un ancho adicional a la zona de rodamiento por el cual puede transitar, en caso obligado, con todo o parte del vehículo.
- Proteger la calzada contra la humedad y posibles erosiones.
- Servir de estacionamiento temporal para los vehículos cuando sufran daños o deban suspender la marcha por cualquier otra causa, a fin de evitar que sean un obstáculo en el tránsito normal de la vía.
- Mejorar la visibilidad de los tramos curvos.
- Facilitar al usuario los recorridos, pues al distanciar la calzada de todo obstáculo lateral puede aumentar aquél la velocidad de viaje.
- Cooperar en los trabajos de conservación de la vía.

El ancho de los espaldones depende del tráfico que debe servir la vía, de la velocidad de diseño y del ancho del pavimento.

El Pavimento es la parte de la carretera en donde se vá a producir la circulación de los automóviles, y su ancho va a variar según la clasificación que tenga la carretera a la que pertenece.

La corona es la unión de las dos partes mencionadas anteriormente.

### 3.2.2.- Clasificación de carreteras.

Según información obtenida en el Ministerio de Obras Públicas y en la Dirección de Planificación del Consejo provincial del Guayas las carreteras se clasifican en seis tipos de los cuales presentamos las características principales de cada una de ellas.

CLASES DE CARRETERAS.	TRAFICO PROYECTADO
R-I O R-II	MAS QUE 8000 TPDA
1	3000 A 8000 TPDA
2	1000 A 3000 TPDA
3	300 A 1000 TPDA
4	100 A 300 TPDA
5	MENOS DE 100 TPDA

**Tabla 3.1.-Clasificación de carreteras por TPDA**

Donde TPDA es el Tráfico Proyectado Diario Anual.

### VELOCIDAD DE DISEÑO

CLASE DE CARRETERA	VALOR RECOMENDABLE			VALOR ABSOLUTO		
	L	O	M	L	O	M
R-I O R-II	120	110	80	110	90	80
1	110	100	80	100	80	70
2	110	100	80	100	80	60
3	100	80	60	90	70	50
4	90	70	60	60	60	40
5	70	60	50	50	40	40

**Tabla 3.2.- Clasificación de carreteras por velocidad**

Donde

L = Terreno Plano (tipo 1)

O = Terreno Ondulado (tipo 2)

M = Terreno Montañoso (tipo 3)

#### SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS

CLASE DE CARRETERA	ANCHO DE PAVIMENTO	
	RECOMENDABLE	ABSOLUTO
R-I O R-II	7.30	7.30
1	7.30	7.30
2	7.30	6.50
3	6.70	6.00
4	7.50*	6.00*
5	6.50*	4.00*

**Tabla 3.3.- Sección Transversal de las carreteras**

Donde

\*En la clase IV y V están incluidos los espaldones.

CLASE DE CARRETERA	ANCHO DE ESPALDONES						GRADIENTE TRANSVERSAL %
	RECOMENDABLE			ABSOLUTO			
	L	O	M	L	O	M	
R-I O R-II	3	3	2.5	3	3	2	4%
1	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	4%
2	2.5	2.5	1.5	2.5	2.0	1.5	4%
3	2.0	1.5	1.0	1.5	1.0	0.5	4%

**Tabla 3.4.- Características de espaldones y gradiente**

Capacidad máxima de trabajo en carreteras de carriles de 3.6 m. De ancho, condiciones excelentes de alineamiento y visibilidad y velocidades promedio de 70 a 80 Km./h, las siguientes:

CLASE DE CARRETERA	TALUDES EN TERRENOS PLANOS	
	C	R
R-I O R-II	3:1	4:1
1	3:1	4:1
2	2:1	3:1
3	2:1	2:1

Tabla 3.5.- Clasificación de taludes

Donde

C = Corte

R = Relleno

CLASE DE CARRETERA	CLASIFICACION DE SUPERFICIE DE RODADURA	
	TIPO DE SUPERFICIE	GRADIENTE TRANSVERSAL
R-I O R-II	Alto grado estructural Concreto Asfáltico En Hormigón	(Porcentaje 1.5-2)
1	Alto grado estructural Concreto Asfáltico En Hormigón	(Porcentaje 1.5-2)
2	Grado Estructural Intermedio Concreto Asfáltico o triple Tratamiento Superficie Bituminosa	2
3	Bajo Grado Estructural	2
4	Grava	3
5	Grava, Empedrado y Tierra	3 - 4

Tabla 3.6.- Clasificación de superficie de rodadura

## DISEÑO DE PAVIMENTO

CLASE DE CARRETERA	DE	SUB-BASE	BASE	PAVIMENTO CONCRETO ASFALTICO*
R-I O R-II		30 cm.	20cm.	10cm*
1		30cm.	20cm	7.5cm*
2		20 cm.	15cm.	5cm*
3		20 cm.	15cm.	+2.5(doble tratamiento superficial bituminoso)
4		15cm.	Capa de rodadura de grava seleccionada	
5		Suelo existente Compactado Cuando sea Aceptable	15cm de capa de rodadura	

Tabla 3.7.- Diseño de pavimento

### Estados de las Vías

- 1: Vía en servicio
- 2: Vía en reparación

### Función

- 1: Sobre Río ó Quebrada
- 2: Paso Superior con otro camino
- 3: Paso Inferior con otro camino
- 4: Paso Superior con FF.CC.
- 5: Paso Inferior con FF.CC.

### Tipo de Superficie

- 1: Muy deteriorada ó Irregular
- 2: Muy Irregular , baches extensos y frecuentes
- 3: Baches frecuentes, irregularidades impiden conducir apropiadamente
- 4: Generalmente Lisa , Algunas irregularidades
- 5: Completamente lisa sin irregularidades

### 3.2.3.- Descripción de las características de la ruta de la red de banda ancha.

Una vez vista la clasificación de las carreteras, vamos a describir las características de cada uno de los tramos de la red de fibra óptica. Nuestro estudio lo haremos separándolo por provincias.

#### Provincia del Guayas:

##### Tramo Vía Nobol - Guayaquil

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.84
Ancho de Superficie (m.)	10.50
Tipo de Superficie:	3

##### Tramo Guayaquil- Pascuales

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	6.31
Ancho de Superficie (m.)	14.8
Tipo de Superficie:	3

##### Tramo Pascuales Nobol

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	19.76
Ancho de Superficie (m.)	11
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	13.5
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales(Km.)	6.9359
2.- Longitud (m.)	9
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Pascuales (Km.)	8.0658
3.- Longitud (m)	9

Ancho (m.)	8.50
Distancia a Pascuales(Km.)	8.3207
4 - Longitud (m.)	10
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales (Km.)	10.4611
5 - Longitud (m.)	13.50
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Pascuales(Km.)	11.4617
6 - Longitud (m.)	35.50
Ancho (m.)	8
Distancia a Pascuales (Km.)	13.3806
7 - Longitud (m.)	35.50
Ancho (m.)	12.00
Distancia a Pascuales(Km.)	14.7594
8 - Longitud (m.)	9
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales (Km.)	18.509
9 - Longitud (m.)	12
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales(Km.)	0.3706
10 - Longitud (m.)	10.50
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales (Km.)	0.7723
11 - Longitud (m.)	13.00
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Pascuales(Km.)	1.6435
12 - Longitud (m.)	9.00
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Pascuales (Km.)	5.1467
13 - Longitud (m.)	12.00
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Pascuales (Km.)	6.1944

#### Tramo Nobol -Entrada a Daule

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	3.97
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	203
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Nobol (Km.)	3.106



**Tramo Salida a Daule- Sta. Lucia**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	14.99
Ancho de Superficie (m.)	9.50
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	16
Ancho (m.)	8.20
Distancia a Salida a Daule(Km.)	4.608
2.- Longitud (m.)	31
Ancho (m.)	8
Distancia a Salida a Daule (Km.)	7.464
3.- Longitud (m)	16
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Salida a Daule (Km.)	8.6905
4.- Longitud (m)	14.00
Ancho (m.)	7.00
Distancia a Salida a Daule (Km.)	14.8328
5.- Longitud (m)	23.00
Ancho (m.)	8.000
Distancia a Salida a Daule (Km.)	14.9169

**Tramo Sta. Lucia - Palestina**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	8.41
Ancho de Superficie (m.)	9.40
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	23.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Sta. Lucia(Km.)	0.1058
2.- Longitud (m.)	21.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Sta. Lucia (Km.)	4.4931

**Tramo Palestina - Balzar**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	2

Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	29.16
Ancho de Superficie (m.)	9.50
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	20.00
Ancho (m.)	8.10
Distancia a Palestina (Km.)	11.2939
2 - Longitud (m.)	19.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Palestina (Km.)	18.3702
3 - Longitud (m)	22.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Palestina (Km.)	24.2439

#### Tramo Balzar - El Empalme

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	41.71
Ancho de Superficie (m.)	11
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	14
Ancho (m.)	12.4
Distancia a Balzar (Km.)	2.2579

#### Tramo El Empalme

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.64
Ancho de Superficie (m.)	7
Tipo de Superficie:	3

#### Tramo El Empalme- Cantón Pichincha

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	23.02
Ancho de Superficie (m.)	7

Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	37
Ancho (m.)	7.4
Distancia a El Empalme (Km.)	6.4592
2 - Longitud (m)	35
Ancho (m.)	7.5
Distancia a El Empalme (Km.)	9.3335
3 - Longitud (m)	24
Ancho (m.)	7.3
Distancia a El Empalme (Km.)	11.2825

#### Tramo Limite Guayas / Los Ríos El Empalme

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	2.96
Ancho de Superficie (m.)	7.90
Tipo de Superficie:	1

#### Tramo La Puntilla- Guayaquil

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	15.08
Ancho de Superficie (m.)	15
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	760
Ancho (m.)	15
Distancia a La Puntilla (Km.)	0.4059
2 - Longitud (m)	12
Ancho (m.)	16
Distancia a La Puntilla (Km.)	9.6922
3 - Longitud (m)	48
Ancho (m.)	16
Distancia a La Puntilla (Km.)	10.9473

**Tramo Duran- La Puntilla**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	2.91
Ancho de Superficie (m.)	15.00
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	1969.00
Ancho (m.)	15.00
Distancia a Duran (Km.)	0.4824

**Tramo Entronque Vía a Babahoyo - Entrada a Durán**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.01
Ancho de Superficie (m.)	9.50
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Entronque Vía a Babahoyo - Entrada a Milagro**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	25.3
Ancho de Superficie (m.)	10.84
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	30.1
Ancho (m.)	10.2
Distancia a Entronque Vía a Babahoyo (Km.)	13.4

**Tramo Entrada a Milagro - Tres Postes**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	10.84
Ancho de Superficie (m.)	11.00
Tipo de Superficie:	2

**Tramo Tres Postes- Limite Guayas Los Rios**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	12.76
Ancho de Superficie (m.)	11.00
Tipo de Superficie:	2.00
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	37.00
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Tres Postes (Km.)	4.4029
2.- Longitud (m.)	67.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Tres Postes (Km.)	9.1079
3.- Longitud (m)	62.00
Ancho (m.)	8.20
Distancia a Tres Postes (Km.)	12.6878

**Tramo Vía (Yaguachi - Juján) - Milagro**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	8.27
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	2.00
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	53.00
Ancho (m.)	7.50
Distancia a Vía Yaguachi - Jujan (Km.)	7.6386

**Tramo Milagro - Y a Puerto Inca**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	11.73
Ancho de Superficie (m.)	7.40
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	24.50
Ancho (m.)	7.50
Distancia a Milagro (Km.)	4.0361
2.- Longitud (m)	56.50

Ancho (m.)	7.50
Distancia a Milagro (Km.)	5.5537

**Tramo Y a Puerto Inca (El Triunfo Guayaquil)- (Milagro Machala)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.76
Ancho de Superficie (m.)	10.50
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	20.50
Ancho (m.)	11.70
Distancia a La Y (Km.)	1.0105

**Tramo El Triunfo- Entronque Vía a Naranjito**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	19.97
Ancho de Superficie (m.)	8.50
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	12.50
Ancho (m.)	7.40
Distancia a El Triunfo (Km.)	0
2.- Longitud (m)	61
Ancho (m.)	6.50
Distancia a El Triunfo (Km.)	19.381

**Tramo Entronque Vía a Naranjito - (El Triunfo - Guayaquil / Milagro - Machala)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.22
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	3

**Tramo El Triunfo- Manuel J. Calle**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	2.55
Ancho de Superficie (m.)	10.50
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	17
Ancho (m.)	11.3
Distancia a El Triunfo (Km.)	0.1872
2.- Longitud (m)	77
Ancho (m.)	8.7
Distancia a El Triunfo (Km.)	2.5502

**Provincia de Manabí****Tramo Cantón Pichincha - San Sebastián**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	14.93
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	171.00
Ancho (m.)	7.50
Distancia a Pichincha (Km.)	0
2.- Longitud (m.)	85.50
Ancho (m.)	7.30
Distancia a Pichincha (Km.)	3.5701
3.- Longitud (m)	59.00
Ancho (m.)	7.40
Distancia a Pichincha (Km.)	10.1377

**Tramo San Plácido - San Sebastián**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	38.80
Ancho de Superficie (m.)	6.80

Tipo de Superficie:	4
---------------------	---

#### Tramo Alhajuela - San Placido

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.30
Ancho de Superficie (m.)	6.80
Tipo de Superficie:	4

#### Tramo Abdón Calderón - Alhajuela

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.24
Ancho de Superficie (m.)	6.90
Tipo de Superficie:	4

#### Tramo Vía Portoviejo- Calderón - Portoviejo

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.21
Ancho de Superficie (m.)	6.70
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Portoviejo - Cambio de Calzada a Montecristi

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	10.85
Ancho de Superficie (m.)	18.70
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	18.00
Ancho (m.)	26.10
Distancia a La Puntilla (Km.)	2.0421



**Tramo ( Y a Portoviejo / La Pila / Montecristi ) - Montecristi**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	0.45
Ancho de Superficie (m.)	10.50
Tipo de Superficie:	2

**Tramo Montecristi - Manta**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.14
Ancho de Superficie (m.)	9.80
Tipo de Superficie:	2

**Provincia de Los Ríos****Tramo Babahoyo Jujan**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.69
Ancho de Superficie (m.)	10.90
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	23.80
Ancho (m.)	9.10
Distancia a Babahoyo (Km.)	1.3932
2.- Longitud (m.)	61.30
Ancho (m.)	9.90
Distancia a Babahoyo (Km.)	9.6859

**Tramo Babahoyo - Palmar a Beldaco**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	12.30
Ancho de Superficie (m.)	11.20
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	

1.- Longitud (m)	16.90
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Babahoyo (Km.)	2.8945
2.- Longitud (m.)	66.00
Ancho (m.)	8.80
Distancia a Babahoyo (Km.)	11.2254

#### **Tramo (Palmar a Beldaco) - Montalvo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	20.10
Ancho de Superficie (m.)	11.10
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Montalvo - El Limón**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	6.61
Ancho de Superficie (m.)	6.70
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Quevedo- Limite Los Rios Guayas**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	17.84
Ancho de Superficie (m.)	8.10
Tipo de Superficie:	1
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	32.00
Ancho (m.)	8.70
Distancia a Quevedo (Km.)	17.7807

#### **Tramo Buena Fe - Quevedo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	11.04
Ancho de Superficie (m.)	11.20
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Patricia Pilar - Buena Fe**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	39.75
Ancho de Superficie (m.)	11.00
Tipo de Superficie:	3

#### **Provincia del Pichincha**

#### **Tramo Luz de América - Patricia Pilar**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	21.29
Ancho de Superficie (m.)	10.90
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Sto. Domingo - Luz de América**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	18.57
Ancho de Superficie (m.)	7.40
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Redondel Vía a Esmeraldas - Bypass Quevedo - Esmeraldas**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.46
Ancho de Superficie (m.)	11.30
Tipo de Superficie:	1

**Tramo Sto. Domingo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.16
Ancho de Superficie (m.)	10.70
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Alluriquin - Sto. Domingo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	19.87
Ancho de Superficie (m.)	8.60
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	20.10
Ancho (m.)	8.10
Distancia a Alluriquin (Km.)	0.3624
2.- Longitud (m.)	21.10
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Alluriquin (Km.)	4.2671
3.- Longitud (m)	7.90
Ancho (m.)	9.20
Distancia a Alluriquin(Km.)	7.0556
4.- Longitud (m.)	12.50
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Alluriquin (Km.)	9.0988
5.- Longitud (m.)	6.00
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Alluriquin (Km.)	1.03305
6.- Longitud (m.)	10.60
Ancho (m.)	8.70
Distancia a Alluriquin (Km.)	12.8853
7.- Longitud (m.)	25.10
Ancho (m.)	12.10
Distancia a Alluriquin (Km.)	1607142

**Tramo Tandapi - Alluriquin**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	30.65
Ancho de Superficie (m.)	8.40
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	11.10
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Tandapi (Km.)	0
2.- Longitud (m.)	16.20
Ancho (m.)	8.70
Distancia a Tandapi (Km.)	17.9281
3.- Longitud (m)	22.70
Ancho (m.)	9.10
Distancia a Tandapi	25.4265
4.-Longitud (m.)	7.70
Ancho (m.)	8.60
Distancia a Tandapi (Km.)	28.4759

#### Tramo Cambio de Ancho de Calzada - Tandapi

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	34.92
Ancho de Superficie (m.)	7.60
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	16.10
Ancho (m.)	8.70
Distancia a Cambio de Calzada (Km.)	27.5019
2.- Longitud (m.)	14.80
Ancho (m.)	11.80
Distancia a Cambio de Calzada (Km.)	29.4156

#### Tramo Cambio de Ancho de Calzada - Cambio de ancho, Sto. Domingo

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la via	1
Longitud del tramo (Km.)	3.45
Ancho de Superficie (m.)	6.70
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Aloag - Cambio de ancho , Sto. Domingo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.00
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	3

**Tramo (Panamericana / Aloág - Sto. Domingo) - Aloág**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	2.80
Ancho de Superficie (m.)	7.60
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Tambillo - Panamericana / Alóag - Sto. Domingo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.30
Ancho de Superficie (m.)	15.10
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Quito, Entrada a Cutuglagua - Tambillo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.02
Ancho de Superficie (m.)	6.90
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
I.- Longitud (m)	37.00
Ancho (m.)	11.10
Distancia a Quito (Km.)	8.6295

**Tramo Panamericana / Aloág - Sto. Domingo - Machachi**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	4.36
Ancho de Superficie (m.)	14.60
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Machachi - Limite Pichincha / Cotopaxi**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.78
Ancho de Superficie (m.)	8.70
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	80.40
Ancho (m.)	8.70
Distancia a Machachi (Km.)	4.9405

#### **Tramo Entrada a Carapungo(Quito) - Calderón**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.14
Ancho de Superficie (m.)	9.20
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Calderón - Y entrada a Guayabamba**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	15.89
Ancho de Superficie (m.)	9.40
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	106.70
Ancho (m.)	9.80
Distancia a Calderón (Km.)	12.4549

#### **Tramo Y Entrada a Guayllabamba - (Via a Tabacundo / Sta. Rosa de Cusubamba)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	3.22
Ancho de Superficie (m.)	8.70
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	20.10
Ancho (m.)	9.90
Distancia a Entrada a Guayllabamba (Km.)	1.5405

**Tramo Vía San José de Minas - (Vía a Tabacundo / Sta. Rosa de Cusubamba)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.52
Ancho de Superficie (m.)	7.00
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	29.10
Ancho (m.)	9.70
Distancia a Vía a San José de Minas (Km.)	0

**Tramo La Esperanza - Vía a san José de Minas**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	16.89
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Tabacundo - La Esperanza**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.18
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Tabacundo**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.74



Ancho de Superficie (m.)	10.00
Tipo de Superficie:	3

**Tramo (Cayambe - Tabacundo, Vía a Cajas) - Tabacundo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.18
Ancho de Superficie (m.)	7.10
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Cayambe - (Cayambe - Tabacundo , Vía a Cajas)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.82
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	51.80
Ancho (m.)	9.40
Distancia a Cayambe (Km.)	2.2714

**Tramo Cayambe - Limite Pichincha - Imbabura**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	12.25
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	14.60
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Cayambe (Km.)	3.4603

**Provincia de Imbabura**

**Tramo Cajas - Gonzáles Suárez**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	7.24
Ancho de Superficie (m.)	7.70
Tipo de Superficie:	3

#### Tramo Entrada a Gonzáles Suárez - Otavalo

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.62
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	8.60
Ancho (m.)	9.50
Distancia a Gonzales Suárez (Km.)	6.6279

#### Tramo Otavalo - Atuntaqui

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	11.07
Ancho de Superficie (m.)	13.90
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	15.80
Ancho (m.)	8.20
Distancia a Otavalo (Km.)	4.6011

#### Tramo Atuntaqui - Ibarra

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	11.49
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	3

#### Tramo Ibarra - Chota

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	28.79

Ancho de Superficie (m.)	18.90
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	83.90
Ancho (m.)	9.00
Distancia a Ibarra (Km.)	0.3305

#### **Tramo Chota - Puente Río Juncal**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	13.94
Ancho de Superficie (m.)	7.10
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	22.90
Ancho (m.)	14.80
Distancia a Chota (Km.)	5.9456

#### **Provincia del Carchi**

##### **Tramo Bolívar - Limite Carchi Imbabura**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	23.70
Ancho de Superficie (m.)	6.70
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	55.10
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Bolívar (Km.)	8.2356
2.- Longitud (m)	228.00
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Bolívar (Km.)	23.7022

##### **Tramo Bolívar, Panamericana - San Gabriel**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	14.21
Ancho de Superficie (m.)	7.60

Tipo de Superficie:	3
---------------------	---

#### **Tramo San Gabriel - Huaca**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	15.25
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	3
Distancia a Pichincha (Km.)	

#### **Tramo Huaca - Julio Andrade**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	2.86
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Julio Andrade - Las Juntas**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	17.36
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Las Juntas - Tulcán**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	0.67
Ancho de Superficie (m.)	6.5
Tipo de Superficie:	4

#### **Provincia del Cotopaxi**

##### **Tramo Limite Pichincha / Cotopaxi ,Panamericana vía a Sigcho**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2

Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	17.08
Ancho de Superficie (m.)	16.10
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	7.70
Ancho (m.)	18.70
Distancia a Frontera (Km.)	2.5159

**Tramo Panamericana , vía a Sigcho - Panamericana , vía a Saquisilí**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	15.03
Ancho de Superficie (m.)	7.00
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Panamericana Vía Saquisilí - Latacunga**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.64
Ancho de Superficie (m.)	7.00
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Latacunga -( Entronque Latacunga - Salcedo , a Belisario Quevedo)**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.74
Ancho de Superficie (m.)	12.50
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	68.00
Ancho (m.)	9.10
Distancia a Latacunga (Km.)	0.4207
2.- Longitud (m.)	20.20
Ancho (m.)	17.50
Distancia a Latacunga (Km.)	3.9491

**Tramo (Entronque a Latacunga - Salcedo , a Belisario Quevedo) - Salcedo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.79
Ancho de Superficie (m.)	12.60
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo Salcedo (San Miguel) - Límite Cotopaxi - Tungurahua**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	7.00
Ancho de Superficie (m.)	14.20
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	18.00
Ancho (m.)	9.00
Distancia a Salcedo (Km.)	2.298
2.- Longitud (m.)	31.00
Ancho (m.)	7.80
Distancia a Salcedo (Km.)	2.6095

#### **Provincia del Tungurahua**

#### **Tramo Límite Tungurahua Cotopaxi - Entrada Complementaria a Guapante**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.41
Ancho de Superficie (m.)	14.70
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	10.00
Ancho (m.)	17.70
Distancia a Frontera (Km.)	1.0933

#### **Tramo Entrada Complementaria a Guapante - Intersección Panamericana Sta. Fe**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	7.02
Ancho de Superficie (m.)	14.80
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Intersección Panamericana Sta. Fe - desvío a Pillaro**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.02
Ancho de Superficie (m.)	13.10
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Desvío a Pillaro - Ambato**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.82
Ancho de Superficie (m.)	13.00
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	72.00
Ancho (m.)	12.10
Distancia a Desvío (Km.)	3.4518

#### **Tramo Ambato , Redondel del Huachi Chico - (Vía Quero - Cevallos )**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.80
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	2

#### **Tramo Empalme (Quero - Cevallos) - Mocha**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	12.98
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	12.00

Ancho (m.)	10.10
Distancia a Empalme (Km.)	12.9755

#### **Tramo Mocha - Vía a Yanayacu**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	2.34
Ancho de Superficie (m.)	7.00
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	35.70
Ancho (m.)	7.30
Distancia a Mocha (Km.)	0

#### **Tramo Vía a Yanayacu - Límite Tungurahua / Chimborazo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.86
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	3

#### **Provincia del Chimborazo**

#### **Tramo Límite Tungurahua / Chimborazo - San Andrés , Ruta 59**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	15.74
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	3

#### **Tramo San Andrés , Ruta 59 - Riobamba**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	7.05
Ancho de Superficie (m.)	13.00
Tipo de Superficie:	3



**Tramo Riobamba - Vía a Guaranda**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	10.09
Ancho de Superficie (m.)	16.40
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Vía a Guaranda - San Juan**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.80
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Emp. Vía a Gallorumi / El Arenal - San Juan**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	0.84
Ancho de Superficie (m.)	6.50
Tipo de Superficie:	6

**Tramo Calera Chobolpamba - Emp. Vías a Gallorumi / El Arenal**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	0.90
Ancho de Superficie (m.)	6.00
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Limite Bolívar / Chimborazo - Calera Chobolpamba**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.87
Ancho de Superficie (m.)	6.40
Tipo de Superficie:	6

## Provincia de Bolívar

### Tramo Balsapamba - El Limón (Iglesia Sta. Marianita)

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	6.86
Ancho de Superficie (m.)	8.90
Tipo de Superficie:	4
<b>Puentes</b>	
1. - Longitud (m)	7.30
Ancho (m.)	9.60
Distancia a Balsapamba (Km.)	0.7575
2. - Longitud (m.)	23.90
Ancho (m.)	9.70
Distancia a Balsapamba (Km.)	1.2357
3. - Longitud (m)	7.30
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Balsapamba (Km.)	3.1408

### Tramo Las Guardias - Desvío a El Torneado , La Magdalena

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	21.36
Ancho de Superficie (m.)	8.40
Tipo de Superficie:	4
<b>Puentes</b>	
1. - Longitud (m)	18.00
Ancho (m.)	10.10
Distancia a Las Guardias (Km.)	21.0899

### Tramo Desvío a Bilovan - Las Guardias

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	7.24
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Entrada a San Pablo - Desvío a Bilovan**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.40
Ancho de Superficie (m.)	6.70
Tipo de Superficie:	4

**Tramo San Miguel - Entrada a San Pablo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	16.74
Ancho de Superficie (m.)	7.00
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Chimbo - San Miguel**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.15
Ancho de Superficie (m.)	6.80
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Desvío a Santa Fe - Chimbo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	11.04
Ancho de Superficie (m.)	7.40
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Guaranda - Desvío a Santa Fe**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.98
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	4
<b>Puentes</b>	

1.- Longitud (m)	68.00
Ancho (m.)	8.80
Distancia a Guaranda (Km.)	1.886

#### **Tramo Guaranda - Límite Bolívar- Chimborazo**

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	28.3
Ancho de Superficie (m.)	7.50
Tipo de Superficie:	4
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	25
Ancho (m.)	10.2
Distancia a Guaranda (Km.)	7

#### **Provincia del Cañar**

##### **Tramo Manuel J. Calle - La Troncal**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	10.48
Ancho de Superficie (m.)	10.30
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	30.00
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Manuel J. Calle (Km.)	0.1995
2.- Longitud (m.)	18.00
Ancho (m.)	11.80
Distancia a Manuel J. Calle (Km.)	4.8292

##### **Tramo La Troncal - Chochancay**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	13.5
Ancho de Superficie (m.)	10.3
Tipo de Superficie:	2

**Tramo Chochancay - Ducur**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	41.12
Ancho de Superficie (m.)	9.50
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Ducur Suscal**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	15.61
Ancho de Superficie (m.)	9.50
Tipo de Superficie:	4

**Tramo Suscal - Y de Zhud**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.35
Ancho de Superficie (m.)	10.00
Tipo de Superficie:	2

**Tramo Y de Zhud - El Tambo**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	16.25
Ancho de Superficie (m.)	10.80
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	12.00
Ancho (m.)	18.60
Distancia a Y (Km.)	12.1418

**Tramo El Tambo - Río Cañar**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1

Longitud del tramo (Km.)	3.29
Ancho de Superficie (m.)	10.90
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	27.00
Ancho (m.)	9.00
Distancia a El Tambo (Km.)	3.2602

#### Tramo Puente de Cañar - Cañar

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.74
Ancho de Superficie (m.)	10.50
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Cañar - Entrada a Curiquingue

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.05
Ancho de Superficie (m.)	9.60
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Entrada a Curiquingue - Biblian

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	17.82
Ancho de Superficie (m.)	9.80
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Biblian - Azogues

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.70
Ancho de Superficie (m.)	9.10
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	9.00

Ancho (m.)	10.40
Distancia a Biblian (Km.)	4.6928

### Tramo Azoguez - Loyola

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	12.00
Ancho de Superficie (m.)	8.90
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	7.00
Ancho (m.)	10.20
Distancia a Azoguez (Km.)	5.01
2.- Longitud (m.)	50.00
Ancho (m.)	9.80
Distancia a Azoguez (Km.)	10.02

### Tramo Javier Loyola - Límite Cañar / Azuay

Clase de Carretera	3
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	4.62
Ancho de Superficie (m.)	8.80
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	7.00
Ancho (m.)	10.10
Distancia a Javier Loyola (Km.)	2.3764
2.- Longitud (m.)	50.00
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Javier Loyola (Km.)	3.2816

### Provincia del Azuay

#### Tramo Desvío a Gualaceo - Cuenca

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.56
Ancho de Superficie (m.)	8.30

Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	25.00
Ancho (m.)	8.00
Distancia a Desvío a Gualaceo (Km.)	6.1421
2.- Longitud (m.)	9.00
Ancho (m.)	7.50
Distancia a Desvío a Gualaceo (Km.)	8.423

#### Tramo Cuenca - Estación Cumbe

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	14.59
Ancho de Superficie (m.)	7.10
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	13.00
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Cuenca (Km.)	4.5243

#### Tramo Estación Cumbe - Victoria del Portete

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.00
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	3

#### Tramo Victoria del Portete - Girón

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	14.01
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	42.30
Ancho (m.)	19.20
Distancia a Victoria del Portete (Km.)	13.9593



**Tramo Girón - Abdón Calderón**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	23.02
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	24.00
Ancho (m.)	9.60
Distancia a Girón(Km.)	2.3238
2.- Longitud (m)	60.00
Ancho (m.)	9.50
Distancia a Girón(Km.)	13.6382

**Tramo Abdón Calderón - Sta. Isabel**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.42
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	3

**Tramo Sta. Isabel - Ushcurumi**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	58.05
Ancho de Superficie (m.)	8.7
Tipo de Superficie:	3
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	40.00
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Sta. Isabel (Km.)	27.6591
2.- Longitud (m)	28.00
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	31.8718
3.- Longitud (m)	29.00
Ancho (m.)	8.10
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	34.4162
4.- Longitud (m)	20.00
Ancho (m.)	8.70

Distancia a Sta. Isabel(Km.)	39.5979
5.- Longitud (m)	29.60
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	46.8309
6.- Longitud (m)	20.10
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	55.9152
7.- Longitud (m)	67.30
Ancho (m.)	8.40
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	57.3985
8.- Longitud (m)	36.40
Ancho (m.)	8.50
Distancia a Sta. Isabel(Km.)	57.7561

### Provincia de El Oro

#### Tramo Uzhcurrumi - Desvío a Chilla

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	1.6
Ancho de Superficie (m.)	8.00
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Desvío a Chilla - Y de la Quera

Clase de Carretera	2
Tipo de terreno	2
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	18.01
Ancho de Superficie (m.)	9.80
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	18.00
Ancho (m.)	9.52
Distancia a Desvío (Km.)	3.52
2.- Longitud (m)	13.52
Ancho (m.)	10.03
Distancia a Desvío (Km.)	14.6

#### Tramo Puente sobre el Río Casacay - Y de la Quera

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	2

Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.63
Ancho de Superficie (m.)	10.00
Tipo de Superficie:	2

#### Tramo Pasaje - Puente Sobre el Río Casacay

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	3
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	9.76
Ancho de Superficie (m.)	9.80
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	55.00
Ancho (m.)	10.10
Distancia a Pasaje (Km.)	7.1838
2 - Longitud (m)	70.00
Ancho (m.)	10.00
Distancia a Pasaje (Km.)	9.6882

#### Tramo Y de Pasaje - Pasaje

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.90
Ancho de Superficie (m.)	7.30
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1 - Longitud (m)	19.00
Ancho (m.)	8.30
Distancia a Y de Pasaje (Km.)	3.7291

#### Tramo Y del Cambio - Machala

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	5.47
Ancho de Superficie (m.)	7.20
Tipo de Superficie:	2

**Tramo Y de Pasaje - Y del Enano**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	10.82
Ancho de Superficie (m.)	10.90
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	18
Ancho (m.)	10.30
Distancia a Y de Pasaje (Km.)	9.034

**Tramo Y del Enano - El retiro**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	3.38
Ancho de Superficie (m.)	10.80
Tipo de Superficie:	2

**Tramo El Retiro - Sta. Rosa**

Clase de Carretera	1
Tipo de terreno	1
Estado de la vía	1
Longitud del tramo (Km.)	8.26
Ancho de Superficie (m.)	10.90
Tipo de Superficie:	2
<b>Puentes</b>	
1.- Longitud (m)	60.00
Ancho (m.)	10.90
Distancia a El Retiro (Km.)	5.8177
2.- Longitud (m.)	50.00
Ancho (m.)	10.50
Distancia a El Retiro (Km.)	6.7062
3.- Longitud (m)	10.00
Ancho (m.)	11.00
Distancia a El Retiro (Km.)	7.1357

### **3.2.4.- Requerimientos para la implementación del cable de fibra óptica sobre las carreteras del Ecuador.**

En el registro oficial No 118 publicado el día miércoles 12 de julio del 2000 mediante acuerdo número 049 se detallan los requisitos para obtener el permiso de ocupación de las zonas subyacentes de las vías públicas, que según la normatividad vigente, son de exclusiva responsabilidad y control del ministerio de obras pública:

Art. 1.-Cualquier persona, natural y/o jurídica, debidamente autorizada por los organismos reguladores podrá solicitar al Ministerio de Obras Públicas, se le conceda permiso de ocupación y uso de la franja subyacente, dentro del derecho de vía, de los caminos de primero y segundo orden para realizar instalaciones y/o colocar ductos a una profundidad de un metro cuarenta centímetros de la superficie de la vía, con un diámetro no mayor de treinta centímetros, en conformidad con las siguientes normas:

- Los ductos y/o instalaciones serán ubicadas dentro del espacio que corresponde al derecho de vía, en uno de los lados de la carretera, procurando siempre no causar daño a la vía; y, en el caso de producirlo, la persona autorizada procederá de inmediato bajo su costo y responsabilidad, a la reparación correspondiente y cubrirá económicamente los daños que ocasione.
- Las áreas afectadas por las instalaciones y/o ductos deberán quedar rehabilitadas y en el mismo estado en que se encontraban antes de proceder a realizar los trabajos correspondientes.
- De modo general, los trabajos de instalación, tienen que realizarse junto a la cuneta, si la hubiera; caso contrario se utilizará la zona adecuada dentro del derecho de vía, procurando que sea el que más se aleja de la mesa de la carretera.
- Para los casos en que no puedan cumplirse los requerimientos anteriores, la ubicación deberá ser definida por el director general de obras públicas o el funcionario que designe.
- De manera obligatoria, deberán tomarse las precauciones necesarias para que no se produzcan derrumbes o desmoronamientos que afecten la estabilidad de la vía.
- El relleno posterior que tenga que realizarse, deberá hacerse en etapas compactas, conforme a las especificaciones técnicas utilizadas para la vía, mediante los ensayos adecuados que se entregarán a la Dirección General, para la verificación respectiva.
- Cuando los trabajos afecten capas del pavimento, este tiene que ser restituido con espesores iguales o equivalentes.

- Bajo ningún motivo se podrá interrumpir el tráfico vehicular. Por consiguiente, se tomarán todas las prevenciones necesarias de seguridad, a través de la señalización oportuna.  
Si hubiere cruces de calzadas, se emplearán sistema adecuados a las normas de ingeniería.
- Por ningún motivo podrán ser obstruidos elementos de sistema de drenaje como alcantarillas, cunetas, canales y otros similares.
- En los casos de ductos por obra de arte, se obtendrá previamente el visto bueno del Director General de Obras públicas o funcionario designado.
- En lugares donde no sea posible las instalaciones y/o ductos que sea porque existe roca u otro obstáculo, se deberá construir canalización o elevarlos en postes de concreto, madera u otro material contemplado en las normas de ingeniería. Previamente se obtendrá el visto bueno previsto en el artículo j.
- De manera obligatoria, se observarán todas las precauciones necesarias tendientes a evitar interrupciones o alteraciones a las instalaciones de servicio público, como agua potable, luz eléctrica, teléfonos y otros. Para el efecto, deberá coordinarse con las autoridades seccionales o empresas correspondientes a cuya competencia se encuentren asignados esos servicios públicos.

Art. 2.-las autorizaciones del ministerio de obras públicas y comunicaciones para las instalaciones y/o ductos a lo largo de las vías que constituyen la red primaria y secundaria del país, se emitirán acorde a las características técnicas que deberán especificarse en las respectivas resoluciones que al efecto emitirá en cada caso el Director General de obras públicas.

El Director General de Obras Públicas, supervisará las autorizaciones a que se refiere este acuerdo, en forma permanente y oportuna.

Art.3.- El director general de obras públicas, verificará que las especificaciones y/o ductos referidos, no produzcan detrimento alguno a las condiciones de cimentación y estabilidad de los caminos, al efecto deberá aprobar, los planos y documentación de soporte técnico para la instalación de los ductos.

Cuando las vías se encuentran concesionadas a la empresa privada, se comunicará a la unidad de concesiones para que esta a su vez lo notifique al concesionario. En todo caso, bajo ningún concepto podrá interrumpirse o causarse inconveniente de cualquier índole a los contratos de concesión legalmente suscritos y vigentes.

Art.4.- Se fijan en cinco años el plazo de duración del permiso de ocupación y uso. Por decisión del ministerio de obras públicas, este plazo podrá ser renovado por periodos iguales, previa verificación del cumplimiento de las obligaciones adquiridas por el beneficiario de la autorización.

Art. 5.- El ministerio de obras públicas, recibirá como derechos por los permisos de ocupación y uso de las vías, conforme a lo expresado, un valor que no podrá ser inferior de US\$ 100.000,00 por año, sin atención de la longitud de la vía solicitada y autorizada, considerando que el valor por kilómetro año es de US\$50.

Art. 6.- El ministerio podrá recibir los valores correspondientes a los derechos de ocupación y uso, en numerario o sus equivalentes en bienes y/o servicios, de acuerdo con las normas de valoración vigentes.

Art. 7.- Cuando la última instancia administrativa de los organismos reguladores, mediante acto definitivo, comunicarán al ministerio de obras públicas el uso indebido de las instalaciones y/o ductos o en fines distintos a los autorizados, se declarará cancelado el permiso de ocupación y uso, sin perjuicio de las sanciones de ley.

## Capítulo IV

# CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE BANDA ANCHA

### 4.1.-Arquitectura de protocolos.

En este capítulo vamos a definir los protocolos que se utilizarán en nuestra red, mencionando las principales características de cada uno de ellos:

Para la transferencia de información haremos uso del protocolo ATM (modo de transferencia asincrónica), porque con este protocolo podemos integrar los servicios de datos, audio y video, y nos ofrece un sin número de ventajas sobre otros protocolos de transferencia de datos.

Básicamente esta tecnología administra el ancho de banda asignado a cada una de las aplicaciones que fluyan por la red, para esto integra las principales ventajas que ofrecen TDM y conmutación de paquetes, es decir puede asignar un ancho de banda específico a una aplicación, como también puede asignarle todo el ancho de banda que la aplicación requiera.

Este protocolo es el ideal para aplicaciones de video: como son las video conferencias, porque sus datos los transfiere a una tasa de bits constante, en celdas o células de tamaño fijo, y esta característica hace que el retardo que se da en los nodos sea imperceptible para los usuarios finales, así como también contribuye a que la red sea mucho más rápida.

También podemos decir que nuestra red es inteligente, ya que su expansión (mayor número de clientes) sería fácil, porque al colocar nosotros un nuevo nodo en la red, esta se encargará de reconocerlo y también de ver su topología sin necesidad de que el administrador de la red haga mayor esfuerzo.

En resumen nuestra red hará uso de ATM, porque este es el protocolo del futuro, a corto y largo plazo, y es al cual todos los países del mundo están convergiendo.

Nuestra red basada en la tecnología ATM, trabajará en algunos puntos de la red con la tecnología Frame Relay, porque en dichos puntos el tráfico que se administrará será mucho menor que en el resto de nodos, y la presencia de un conmutador ATM no se justificaría.

Obviamente la tecnología ATM es de mucha más capacidad que Frame Relay, pero esta tecnología de retransmisión de tramas es capaz de brindar un excelente servicio de transferencia de datos a un gran número de usuarios.

Una vez ya definido los protocolos de transferencia de datos, seleccionaremos para nuestra red la tecnología que transporte de manera más eficiente y rápida estos datos, y esto nos lo brinda la tecnología SDH (jerarquía digital sincrónica), ya que



esta red de transporte trabaja con un solo reloj en toda la red, lo que evita un sin número de problemas ya mencionados, y permite hacer mucho más sencilla su implementación.

Una gran ventaja que nos brinda la red SDH, es que hace sumamente sencilla la migración de sistemas con tecnología PDH (jerarquía digital plesiocrona) a la tecnología SDH, ya que las tramas SDH pueden transportar sin ningún problema las tramas PDH en los denominados contenedores.

Otra ventaja que nos ofrece esta red SDH, es cuando en algún momento nosotros tuviéramos la necesidad de cambiarle la configuración a dicha red, solamente mediante un software le enviamos las tramas con la información de la nueva configuración, y los multiplexores de la red (ADM, add-drop multiplexor) se encargan de asimilar tales modificaciones.

Las ciudades en las cuales se ubicarán los nodos primarios de la red SDH se seleccionarán sobre la base del tráfico que generan, por lo tanto las ciudades que generen mayor tráfico serán escogidas para darle servicio colocando un switch ATM, mientras que en las otras ciudades dependiendo de su importancia se colocarán nodos secundarios y también se colocará para cada nodo secundario su respectivo switch ATM si se justifica (es decir hay el suficiente tráfico), en caso contrario se pondrá un switch frame relay.

## **4.2.-Criterios técnicos para el dimensionamiento de una red.**

Los criterios que deben tenerse en cuenta cuando se está diseñando una red de transporte son los siguientes:

### **4.2.1.- Determinación de la topología de la red.**

Nuestra idea para el proyecto es unir las principales ciudades del Ecuador mediante una red en configuración tipo anillo.

### **4.2.2.- Determinación de los anillos SDH**

La determinación de los anillos se debe hacer de tal forma que cubra la mayor cantidad de ciudades.

En nuestro proyecto hemos definido 4 anillos para cubrir todos los mercados.

Tres anillos de baja velocidad denominados norte sur y Oeste y un anillo de alta velocidad denominado Central

### **4.2.3.- Escoger la trama y velocidad de los anillos**

En la tabla 4.1 podemos observar las distintas velocidades que ofrece la tecnología SDH

	Velocidad (MBPS)	Vel. aproximada (MBPS)	Canal A 2 MBPS	Canal A 64 KBPS
STM-1	155.52	155	63	1890
STM-4	622.08	622	252	7650
STM-16	2500	2500	1008	30240

**Tabla 4.1.- Velocidades de la Jerarquía SDH**

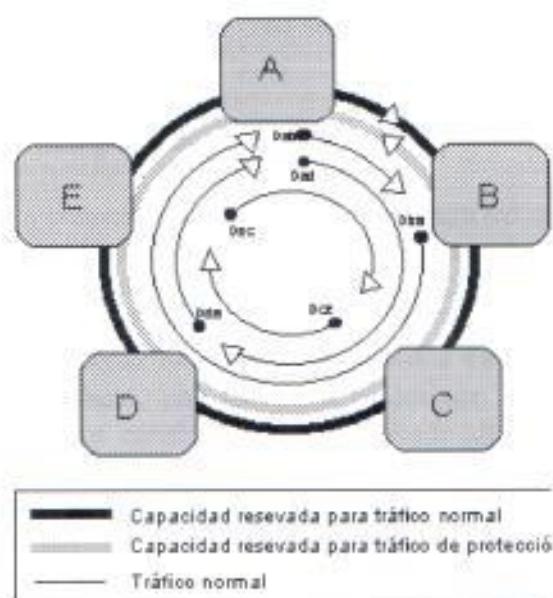
De esta tabla podemos escoger la trama que tendría cada uno de nuestros anillos después de realizar los respectivos cálculos.

#### 4.2.4.- Protección

Establece el tipo de protección a utilizar. En el proyecto que desarrollaremos contempla una protección del 100%

##### Para protección de sección en topología unidireccional

En este caso, como el tráfico es simétrico (hay lo mismo de un nodo a otro que desde ese otro al uno) y la información sólo viaja en un sentido en operación normal, cualquier canal entre dos nodos, estará presente en todo el anillo por tanto. Luego siempre habrá el mismo tráfico en todo el anillo (ver figura 4.1 ), que será el que aparezca como máximo en el anillo de protección y que vale la suma de los tráficos entre nodos.



**Figura 4.1.-Protección**

### **Para protección de trayecto**

En este caso no existe tráfico de protección a tener en cuenta, sino tráfico protegido que se envía por los dos lados y tráfico sin proteger que se envía la mitad por cada lado. El tráfico protegido requerirá tanta capacidad del anillo como la que él represente. En efecto, este tráfico se enviará en los dos sentidos y por ser simétrico, el receptor tendrá un tráfico igual que enviará por los dos sentidos. De esta manera en todos los vanos de los dos anillos habrá que reservar el valor de tráfico protegido. En cuanto al tráfico no protegido, pasa algo parecido se envía por los dos lados. La diferencia es que no se envía todo sino la mitad por cada lado. Para el tráfico no protegido, habrá que reservar por tanto la mitad de su valor en el anillo.

### **4.2.5.- Selección de los Equipos a instalarse en cada nodo y la configuración del anillo**

Se escoge los equipos de acuerdo a los requerimientos de velocidad, una vez que se hayan realizado los cálculos correspondientes. Los resultados obtenidos servirán para poder analizar las características de los distintos transmisores, receptores, cables de fibra y repetidores y así disponer del equipo que mejor se adapte a nuestras necesidades.

### **4.3.-Cálculo de capacidad**

La capacidad que debe tener la red está determinada por la suma de los volúmenes de tráfico normal y de protección que es necesario transportar entre los nodos. Esta suma, sin embargo, varía en función de cuál sea el sistema de protección adoptado en la red.

#### **4.3.1.- Consideraciones previas**

En primer lugar vamos a considerar que el tráfico es simétrico que es lo más común en circunstancias normales (telefonía, alquiler de circuitos...). En otras palabras el tráfico entre dos nodos, será el mismo de uno a otro que de otro a uno.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta que la suma de tráfico no se produce directamente en bits. En efecto, uno estudiará cuáles son las necesidades de los usuarios, y las traducirá a los canales típicos que puede albergar la trama STM-1. Con esto quiero decir que en caso de querer enviar canales de 2 Mbps en una trama STM-1, no se trata de hacer  $150 \text{ Mbps} / 2 \text{ Mbps}$  si no de atendiendo a la jerarquización de contenedores, darse cuenta de que caben 63 canales. Igualmente caben 1890 canales de 64 Kbps ( pues hay 30 de estos canales por cada uno de 2 Mbps ). Lo mismo se aplica cuando se quieren enviar canales de distinta velocidad, hay que estudiar la capacidad en las jerarquías posibles para formar tramas STM-N vistas anteriormente.

Para ilustrar lo que ahora vamos a decir, nos basaremos en el ejemplo de la figura 4.2 dónde  $D_{ij}$  representa el tráfico entre los nodos  $i$  y  $j$  ( Obsérvese que  $D_{ij}=D_{ji}$  por simetría ).

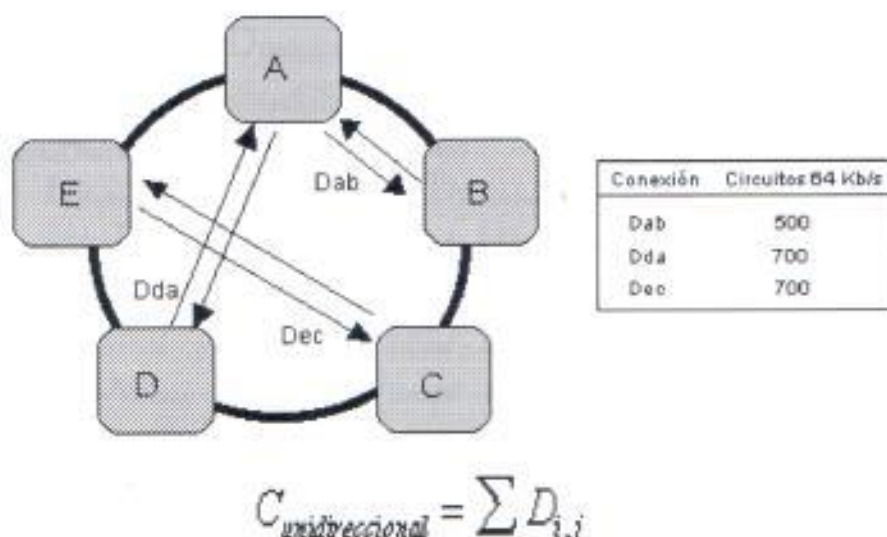


Figura 4.2.- Tráfico entre nodos

Cogiendo los valores del ejemplo obtenemos que necesitamos una capacidad de  $700 + 500 + 700 = 1900$  circuitos de 64 Kbps. Necesitaremos por tanto un STM-4

La matriz de tráfico ( tabla C-2 ) presentada, muestra el tráfico ( en canales de 64 Kbps.) que cada mercado es capaz de generar, y en base de esto vamos a dimensionar los anillos que van a componer nuestra red.

Aplicando la fórmula vista anteriormente, procedemos a sumar todos los tráficos entre los nodos escogidos.

$$C_{unidireccional} = \sum ( D_{\text{ambato - Azoguez}} + D_{\text{ambato - Babahoyo}} + D_{\text{ambato - Balzar}} + D_{\text{ambato - Cañar}} + D_{\text{ambato - cuenca}} + D_{\text{ambato - Daule}} + D_{\text{ambato - el empalme}} + D_{\text{ambato - el triunfo}} + D_{\text{ambato - Guaranda}} + D_{\text{ambato - guayaquil}} + D_{\text{ambato - Ibarra}} + D_{\text{ambato - La troncal}} + D_{\text{ambato - Latacunga}} + D_{\text{ambato - Machala}} + D_{\text{ambato - Manta}} + D_{\text{ambato - Milagro}} + D_{\text{ambato - Otavalo}} + D_{\text{ambato - Portoviejo}} + D_{\text{ambato - Quevedo}} + D_{\text{ambato - Quito}} + D_{\text{ambato - Riobamba}} + D_{\text{ambato - SantaRosa}} + D_{\text{ambato - Sto.Domingo}} + D_{\text{ambato-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Azoguez-Babahoyo}} + D_{\text{Azoguez-Balzar}} + D_{\text{Azoguez-Cañar}} + D_{\text{Azoguez-cuenca}} + D_{\text{Azoguez-Daule}} + D_{\text{Azoguez-el empalme}} + D_{\text{Azoguez-el triunfo}} + D_{\text{Azoguez-Guaranda}} + D_{\text{Azoguez-guayaquil}} + D_{\text{Azoguez-Ibarra}} + D_{\text{Azoguez-La troncal}} + D_{\text{Azoguez-Latacunga}} + D_{\text{Azoguez-Machala}} + D_{\text{Azoguez-Manta}} + D_{\text{Azoguez-Milagro}} + D_{\text{Azoguez-Otavalo}} +$$

$D_{Azoguez-Portoviejo} + D_{Azoguez-Quevedo} + D_{Azoguez-Quito} + D_{Azoguez-Riobamba} + D_{Azoguez-SantaRosa} + D_{Azoguez-Sto.Domingo} + D_{Azoguez-Tulcán}$  )  
 $+ ( D_{Babahoyo-Balzar} + D_{Babahoyo-Cañar} + D_{Babahoyo-cuenca} + D_{Babahoyo-Daule} + D_{Babahoyo-el empalme} + D_{Babahoyo-el triunfo} + D_{Babahoyo-Guaranda} + D_{Babahoyo-guayaquil} + D_{Babahoyo-Ibarra} + D_{Babahoyo-La troncal} + D_{Babahoyo-Latacunga} + D_{Babahoyo-Machala} + D_{Babahoyo-Manta} + D_{Babahoyo-Milagro} + D_{Babahoyo-Otavalo} + D_{Babahoyo-Portoviejo} + D_{Babahoyo-Quevedo} + D_{Babahoyo-Quito} + D_{Babahoyo - Riobamba} + D_{Babahoyo - SantaRosa} + D_{Babahoyo - Sto.Domingo} + D_{Babahoyo - Tulcán} ) + ( D_{Balzar - Cañar} + D_{Balzar - cuenca} + D_{Balzar - Daule} + D_{Balzar - El Empalme} + D_{Balzar - El Triunfo} + D_{Balzar - Guaranda} + D_{Balzar - guayaquil} + D_{Balzar - Ibarra} + D_{Balzar - La troncal} + D_{Balzar - Latacunga} + D_{Balzar - Machala} + D_{Balzar - Manta} + D_{Balzar - Milagro} + D_{Balzar - Otavalo} + D_{Balzar - Portoviejo} + D_{Balzar - Quevedo} + D_{Balzar - Quito} + D_{Balzar - Riobamba} + D_{Balzar - SantaRosa} + D_{Balzar - Sto.Domingo} + D_{Balzar - Tulcán} ) + ( D_{Cañar - cuenca} + D_{Cañar - Daule} + D_{Cañar - el empalme} + D_{Cañar - El triunfo} + D_{Cañar - Guaranda} + D_{Cañar - Guayaquil} + D_{Cañar - Ibarra} + D_{Cañar - La troncal} + D_{Cañar - Latacunga} + D_{Cañar - Machala} + D_{Cañar - Manta} + D_{Cañar - Milagro} + D_{Cañar - Otavalo} + D_{Cañar - Portoviejo} + D_{Cañar - Quevedo} + D_{Cañar - Quito} + D_{Cañar - Riobamba} + D_{Cañar - SantaRosa} + D_{Cañar - Sto.Domingo} + D_{Cañar - Tulcán} ) + ( D_{Cuenca - Daule} + D_{Cuenca - El empalme} + D_{Cuenca - El triunfo} + D_{Cuenca - Guaranda} + D_{Cuenca - Guayaquil} + D_{Cuenca - Ibarra} + D_{Cuenca - La troncal} + D_{Cuenca - Latacunga} + D_{Cuenca - Machala} + D_{Cuenca - Manta} + D_{Cuenca - Milagro} + D_{Cuenca - Otavalo} + D_{Cuenca - Portoviejo} + D_{Cuenca - Quevedo} + D_{Cuenca - Quito} + D_{Cuenca - Riobamba} + D_{Cuenca - Santa Rosa} + D_{Cuenca - Sto.Domingo} + D_{Cuenca - Tulcán} ) + ( D_{Daule - El Empalme} + D_{Daule - El Triunfo} + D_{Daule - Guaranda} + D_{Daule - Guayaquil} + D_{Daule - Ibarra} + D_{Daule - La Troncal} + D_{Daule - Latacunga} + D_{Daule - Machala} + D_{Daule - Manta} + D_{Daule - Milagro} + D_{Daule - Otavalo} + D_{Daule - Portoviejo} + D_{Daule - Quevedo} + D_{Daule - Quito} + D_{Daule - Riobamba} + D_{Daule - SantaRosa} + D_{Daule - Sto.Domingo} + D_{Daule - Tulcán} ) + ( D_{El Empalme - el triunfo} + D_{El Empalme - Guaranda} + D_{El Empalme - Guayaquil} + D_{El Empalme - Ibarra} + D_{El Empalme - La troncal} + D_{El Empalme - Latacunga} + D_{El Empalme - Machala} + D_{El Empalme - Manta} + D_{El Empalme - Milagro} + D_{El Empalme - Otavalo} + D_{El Empalme - Portoviejo} + D_{El Empalme - Quevedo} + D_{El Empalme - Quito} + D_{El Empalme - Riobamba} + D_{El Empalme - SantaRosa} + D_{El Empalme-Sto.Domingo} + D_{El Empalme-Tulcán} ) + ( D_{El Triunfo-Guaranda} + D_{El Triunfo-guayaquil} + D_{El Triunfo-Ibarra} + D_{El Triunfo-La troncal} +$

$D_{\text{El Triunfo-Latacunga}} + D_{\text{El Triunfo-Machala}} + D_{\text{El Triunfo-Manta}} + D_{\text{El Triunfo-Milagro}} + D_{\text{El Triunfo-Otavalo}} + D_{\text{El Triunfo-Portoviejo}} + D_{\text{El Triunfo-Quevedo}} + D_{\text{El Triunfo-Quito}} + D_{\text{El Triunfo-Riobamba}} + D_{\text{El Triunfo-SantaRosa}} + D_{\text{El Triunfo-Sto. Domingo}} + D_{\text{El Triunfo-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Guaranda-guayaquil}} + D_{\text{Guaranda-Ibarra}} + D_{\text{Guaranda-La troncal}} + D_{\text{Guaranda-Latacunga}} + D_{\text{Guaranda-Machala}} + D_{\text{Guaranda-Manta}} + D_{\text{Guaranda-Milagro}} + D_{\text{Guaranda-Otavalo}} + D_{\text{Guaranda-Portoviejo}} + D_{\text{Guaranda-Quevedo}} + D_{\text{Guaranda-Quito}} + D_{\text{Guaranda-Riobamba}} + D_{\text{Guaranda-SantaRosa}} + D_{\text{Guaranda-Sto. Domingo}} + D_{\text{Guaranda-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Guayaquil-Ibarra}} + D_{\text{Guayaquil-La troncal}} + D_{\text{Guayaquil-Latacunga}} + D_{\text{Guayaquil-Machala}} + D_{\text{Guayaquil-Manta}} + D_{\text{Guayaquil-Milagro}} + D_{\text{Guayaquil-Otavalo}} + D_{\text{Guayaquil-Portoviejo}} + D_{\text{Guayaquil-Quevedo}} + D_{\text{Guayaquil-Quito}} + D_{\text{Guayaquil-Riobamba}} + D_{\text{Guayaquil-SantaRosa}} + D_{\text{Guayaquil-Sto. Domingo}} + D_{\text{Guayaquil-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Ibarra-La troncal}} + D_{\text{Ibarra-Latacunga}} + D_{\text{Ibarra-Machala}} + D_{\text{Ibarra-Manta}} + D_{\text{Ibarra-Milagro}} + D_{\text{Ibarra-Otavalo}} + D_{\text{Ibarra-Portoviejo}} + D_{\text{Ibarra-Quevedo}} + D_{\text{Ibarra-Quito}} + D_{\text{Ibarra-Riobamba}} + D_{\text{Ibarra-SantaRosa}} + D_{\text{Ibarra-Sto. Domingo}} + D_{\text{Ibarra-Tulcán}} ) + ( D_{\text{La Troncal-Latacunga}} + D_{\text{La Troncal-Machala}} + D_{\text{La Troncal-Manta}} + D_{\text{La Troncal-Milagro}} + D_{\text{La Troncal-Otavalo}} + D_{\text{La Troncal-Portoviejo}} + D_{\text{La Troncal-Quevedo}} + D_{\text{La Troncal-Quito}} + D_{\text{La Troncal-Riobamba}} + D_{\text{La Troncal-SantaRosa}} + D_{\text{La Troncal-Sto. Domingo}} + D_{\text{La Troncal-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Latacunga-Machala}} + D_{\text{Latacunga-Manta}} + D_{\text{Latacunga-Milagro}} + D_{\text{Latacunga-Otavalo}} + D_{\text{Latacunga-Portoviejo}} + D_{\text{Latacunga-Quevedo}} + D_{\text{Latacunga-Quito}} + D_{\text{Latacunga-Riobamba}} + D_{\text{Latacunga-SantaRosa}} + D_{\text{Latacunga-Sto. Domingo}} + D_{\text{Latacunga-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Machala-Manta}} + D_{\text{Machala-Milagro}} + D_{\text{Machala-Otavalo}} + D_{\text{Machala-Portoviejo}} + D_{\text{Machala-Quevedo}} + D_{\text{Machala-Quito}} + D_{\text{Machala-Riobamba}} + D_{\text{Machala-SantaRosa}} + D_{\text{Machala-Sto. Domingo}} + D_{\text{Machala-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Manta-Milagro}} + D_{\text{Manta-Otavalo}} + D_{\text{Manta-Portoviejo}} + D_{\text{Manta-Quevedo}} + D_{\text{Manta-Quito}} + D_{\text{Manta-Riobamba}} + D_{\text{Manta-SantaRosa}} + D_{\text{Manta-Sto. Domingo}} + D_{\text{Manta-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Milagro-Otavalo}} + D_{\text{Milagro-Portoviejo}} + D_{\text{Milagro-Quevedo}} + D_{\text{Milagro-Quito}} + D_{\text{Milagro-Riobamba}} + D_{\text{Milagro-SantaRosa}} + D_{\text{Milagro-Sto. Domingo}} + D_{\text{Milagro-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Otavalo-Portoviejo}} + D_{\text{Otavalo-Quevedo}} + D_{\text{Otavalo-Quito}} + D_{\text{Otavalo-Riobamba}} + D_{\text{Otavalo-SantaRosa}} + D_{\text{Otavalo-Sto. Domingo}} + D_{\text{Otavalo-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Portoviejo-Quevedo}} + D_{\text{Portoviejo-Quito}} + D_{\text{Portoviejo-Riobamba}} + D_{\text{Portoviejo-SantaRosa}} + D_{\text{Portoviejo-Sto. Domingo}} + D_{\text{Portoviejo-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Quevedo-Quito}} + D_{\text{Quevedo-Riobamba}} + D_{\text{Quevedo-SantaRosa}} + D_{\text{Quevedo-Sto. Domingo}} + D_{\text{Quevedo-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Quito-Riobamba}} + D_{\text{Quito-SantaRosa}} + D_{\text{Quito-Sto. Domingo}} + D_{\text{Quito-Tulcán}} ) + ( D_{\text{Riobamba-}}$

$$\text{Santa Rosa} + D_{\text{Riobamba - Sto. Domingo}} + D_{\text{Riobamba - Tulcán}} + ( D_{\text{Sta. Rosa - Sto. Domingo}} + D_{\text{Sta. Rosa - Tulcán}} ) + D_{\text{Sto. Domingo-Tulcán}}$$

$$C_{\text{unidireccional}} = 2988 \text{ canales de } 64 \text{ Kbps.}$$

La capacidad del sistema nos da un valor 2988 canales de 64 Kbps. , Pero el diseño que proponemos para nuestra red es el siguiente:

Tres anillos de baja velocidad denominados Anillo Norte, Anillo Sur y Anillo Oeste; y un anillo de alta velocidad denominado Anillo Central

#### 4.3.2.- Anillo Norte

El primero de los anillos de baja velocidad cubriría las ciudades del norte del país (Ver Figura 4.3 ) como son: Tulcán, Ibarra, Otavalo conectándose al anillo central en la ciudad de Quito

La capacidad de este anillo está representada en la tabla C 3 (Apéndice C ) , la cual nos da como resultado que este anillo va a tener una capacidad de 194 canales de 64 Kbps.

Esto quiere decir que este anillo va a trabajar con una velocidad de 155 Mbps. Es decir con una trama STM-1 ya que en esta trama pueden haber 1890 canales de 64 Kbps.

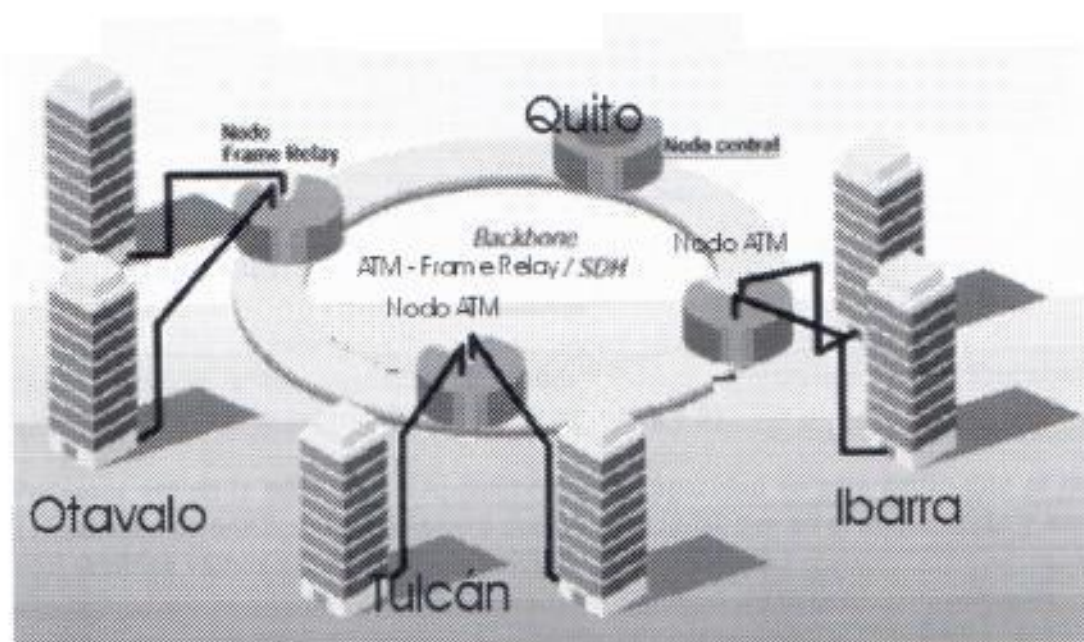


Figura 4.3.- Anillo Norte

### 4.3.3.- Anillo Sur

El anillo Sur estaría brindando servicio a las ciudades de Machala, Sta. Rosa uniéndose al anillo central en la ciudad de Cuenca(Figura 4.4).

Ahora veremos la capacidad de este anillo representada en la tabla C-4 (Apéndice C), en la cual nos damos cuenta que su capacidad es de 201 canales de 64Kbps.

Es decir que al igual que en el anillo norte, este anillo va a trabajar con una velocidad de 155Mbps, en una trama STM-1.

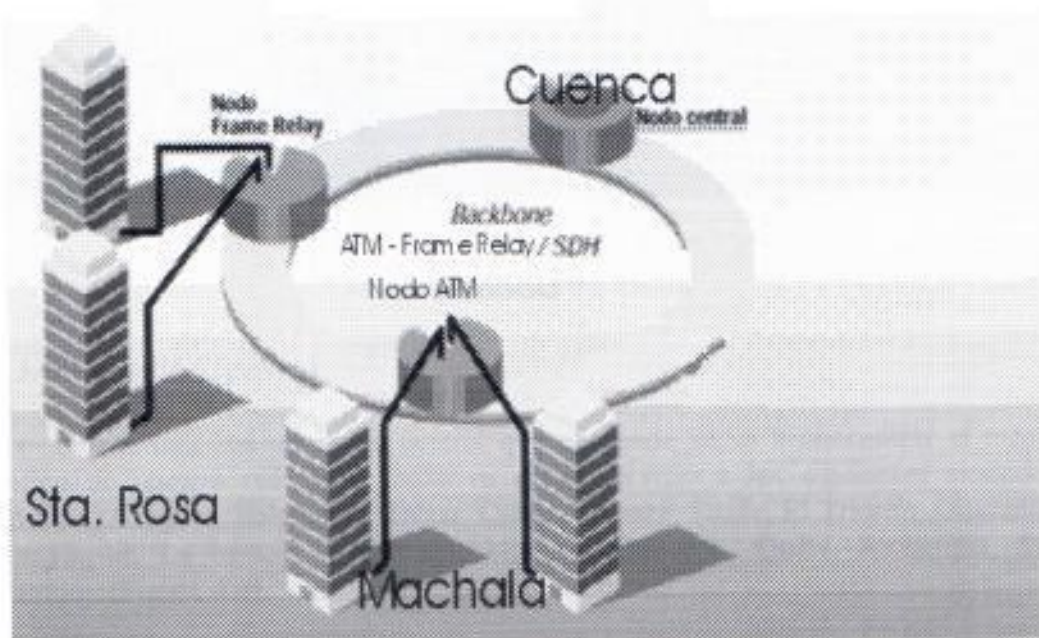


Figura 4.4.- Anillo Sur

### 4.3.4.- Anillo Oeste

Un tercer anillo de baja velocidad se encuentra ubicado en la parte oeste del país dando servicio a las siguientes ciudades Manta, Portoviejo y El Empalme enlazándose al anillo central en El Empalme(figura 4.5).

Podemos ver en la tabla C-5 (Apéndice C) la capacidad de este anillo que es de 316 canales de 64Kbps, lo que quiere decir que al igual que en el anillo norte y sur, aquí también vamos a trabajar a una velocidad de 155Mbps.



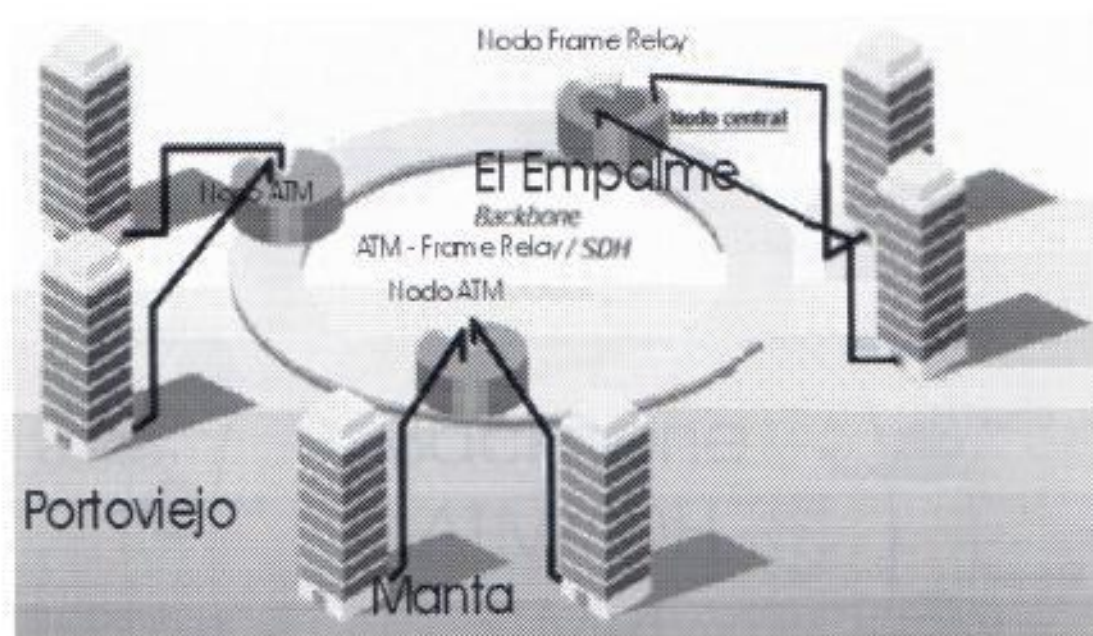
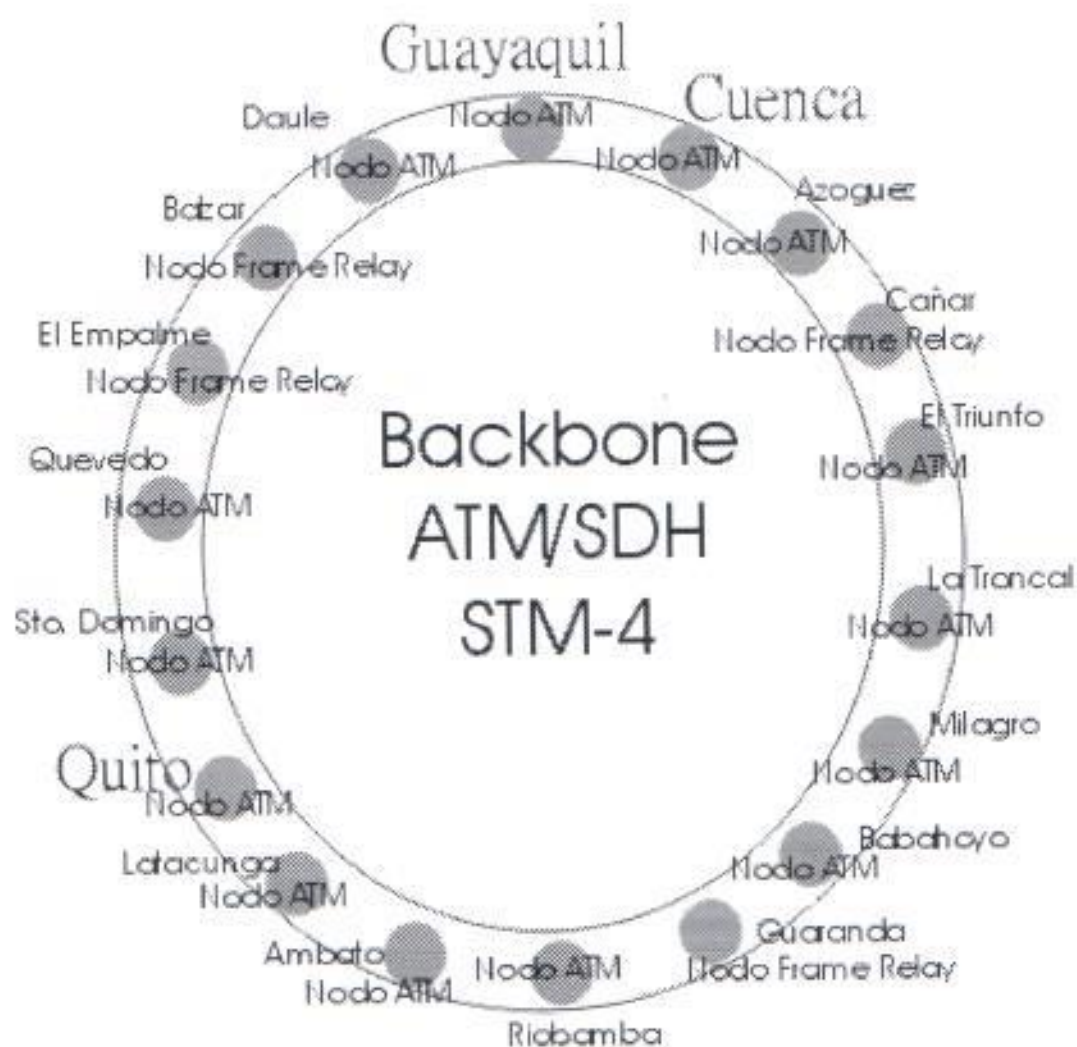


Figura 4.5.- Anillo Oeste

#### 4.3.5.- Anillo Central

Por último tenemos un anillo central que es donde se va a concentrar el mayor tráfico de nuestra red. Este anillo va a dar servicio a las siguientes ciudades: Ambato, Azogues, Babahoyo, Balzar, Cañar, **Cuenca**, Daule, El Triunfo, Guaranda, **Guayaquil**, La troncal, Latacunga, Milagro, Quevedo, **Quito**, Riobamba, Sto. Domingo (Figura 4.6).



**Figura 4.6.- Anillo Central**

Como nos podemos dar cuenta este va a ser el anillo que va a soportar todo el tráfico de la red, el cual podemos ver en la tabla C-2 ( Apéndice C ) , que nos da un valor de 2988 canales de 64Kbps, observando este valor podemos establecer que la velocidad a la cual va a trabajar este anillo va a ser de 622.08Mbps lo cual lo realiza mediante las tramas STM-4.

En la siguiente figura (figura 4.7 )podemos apreciar un perspectiva global de nuestro sistema , presentamos la unión de todos los anillos ópticos.



Figura 4.7.- Representación global anillos red de banda ancha.

#### 4.4. - Características técnicas

Las características técnicas de la red de fibra óptica a instalarse son :

Tipo de fibra óptica : monomodo.

Longitud de onda : 1550nm.

**Equipos :**

Se utilizarán 2 tipos de multiplexores SDH :

- Multiplexores SDH STM1
- Multiplexores SDH STM4

Para los anillos Norte, Sur y Oeste se utilizarán en total 10 Multiplexores SDH STM1 y para el anillo central una cantidad de 18 multiplexores SDH STM4.

Además se utilizaran nodos de conmutación Frame Relay y ATM : en total serán 19 nodos que tendrán que ser configurados en modo ATM y 6 nodos que deberán ser configurados en modo Frame Relay.

Longitud de fibra óptica :

**Longitud de anillo norte:** el anillo norte comprende Las provincias de Carchi, Imbabura, extendiéndose hasta Quito en la provincia de Pichincha, la longitud de la distancia recorrida en carretera será de:

Longitud de Quito hasta limite provincia de Imbabura : 66.83 Km.

Longitud en la provincia de Imbabura: 81.15 Km.

Longitud en la Provincia del Carchi : 74.05

Longitud de carreteras en el anillo norte: 222.03 Km.

Longitud de la fibra en el anillo norte:  $239.11 * 2 = 444.06$  Km.

**Longitud de el anillo sur:** el anillo sur comprende las provincias de El oro y una parte de la provincia del Azuay llegando a la ciudad de Cuenca, la longitud de la distancia recorrida en carretera será :

Longitud tramo Cuenca hasta limite provincia de El Oro : 124.09 Km.

Longitud tramo en la provincia de El oro : 68.83

Longitud de carreteras en el anillo sur: 192.92Km.

Longitud de la fibra en el anillo sur:  $192.92 * 2 = 385.84$  Km.

**Longitud de el anillo Oeste :** en anillo oeste comprende las provincias de Manabi y la provincia de el Guayas hasta la ciudad de El Empalme, la longitud de la distancia recorrida en carretera será :

Longitud desde El Empalme hasta limite provincia de Manabi : 23.02 Km.

Longitud tramo en la provincia de Manabi: 94.92 Km.

Longitud de carreteras en el anillo Oeste: 117.94 Km.

Longitud de la fibra en el anillo Oeste:  $117.94 * 2 = 235.88$  Km.

**Longitud de el anillo central ;** el anillo central comprende las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Bolivar, Los Rios , Cañar , Azuay, Guayas.

Longitud provincia Guayas (limite Guayas Los Ríos - Entrada a Milagro ): 200.68 Km.

Entrada a Milagro - Limite Guayas Cañar: 52.5 Km.

Longitud limite Pichincha Los Ríos - Aloag : 151.01 Km.

Longitud tramo Aloag - Quito : 14.32 Km.

Longitud tramo Aloag Limite Pichincha- Cotopaxi: 14.14 Km.

Longitud tramo provincia Cotopaxi: 54.28 Km.

Longitud tramo provincia del Tungurahua: 45.25 Km.

Longitud tramo provincia del Chimborazo: 41.29 Km.

Longitud Provincia de Bolívar : 101.07 Km.

Longitud provincia de Los Ríos: 117.33 Km.

Longitud provincia de Cañar : 159.53 Km.

Longitud provincia de Azuay : 9.56 Km.

Longitud de carreteras en el anillo central: 960.96 Km.

Longitud de la fibra en el anillo central:  $200.68 + 52.5 * 2 + 151.01 + 14.32 * 2 + 14.14 + 54.28 + 45.25 + 41.29 + 101.07 + 117.33 + 159.53 * 2 + 9.56 * 2 = 1196.87$  Km.

Longitud total del cable de fibra óptica : 2262.65

Longitud de fibra aérea :

Longitud total de la fibra: 2262.65Km.

Longitud total de puentes: 6879.3 m.

Longitud total de fibra aérea: 10639.3 m + 1880 m. = 12519.3 m.

Longitud total de fibra subterránea: 2261.39807 Km.

Considerando que bobina de cable de fibra óptica es de 5000 metros .

Número de empalmes :  $2262.65 / 5 = 453$

Amplificadores ópticos :  $2262.65 / 40 = 57$

#### 4.5. - Ubicación geográfica de los nodos en cada una de las ciudades

Para la ubicación de los nodos de conmutación en cada ciudad , serán establecidos los puntos céntricos de cada ciudad, debido a que este es el punto en el cual se encuentran ubicados el mayor número de empresas y así poder llegar con mayor facilidad al usuario final.

## Capítulo V

### ANÁLISIS DE COSTOS.

#### 5.1. - Comparación y Elección de Empresas proveedoras de equipos

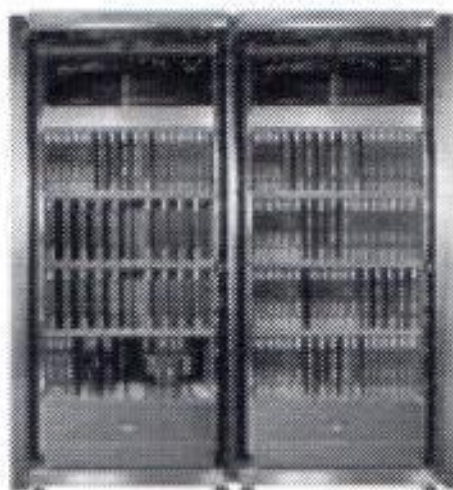
Para la elección de los equipos a utilizar en nuestra red vamos a estudiar las soluciones que nos brindan las diferentes compañías que los fabrican .

Analizaremos los equipos de las siguientes compañías: ALCATEL, LUCENT y SIEMENS

##### 5.1.1.- Alcatel y Siemens.

Nos brindan las siguientes soluciones de Newbridge:

##### 5.1.1.1.- MainStreetXpress 36190



**Figura 5.1.- MainStreetXpress 36190**

Este equipo es una plataforma para ATM y está diseñado para un soporte eficiente de múltiples servicios de banda ancha en red basada en ATM las aplicaciones incluyen:

- Servicio de datos fijos
- Interconexiones LAN
- Video bajo demanda
- Voz sobre ATM
- Acceso a Internet
- ISDN de banda estrecha.

El MainStreetXpress 36190 utiliza tarjetas de slots y estantes universales por eso los módulos de interfaz son intercambiables.

El MainStreetXpress 36190 fue el primer conmutador de servicios basados en ATM ofreciendo ancho de banda bajo demanda a través conexiones virtuales conmutadas.

El MainStreetXpress 36190 soporta conexiones virtuales conmutadas y permanentes incluyendo:

- Punto a punto
- Punto a multipunto
- SVC, PVC, S-PVC, SVP, PVP, S-PVP
- Unidireccional, bidireccional, simétrica y asimétrica.

El MainStreetXpress 36190 trabaja conjuntamente con el con el gestor de red MainStreetXpress 46020

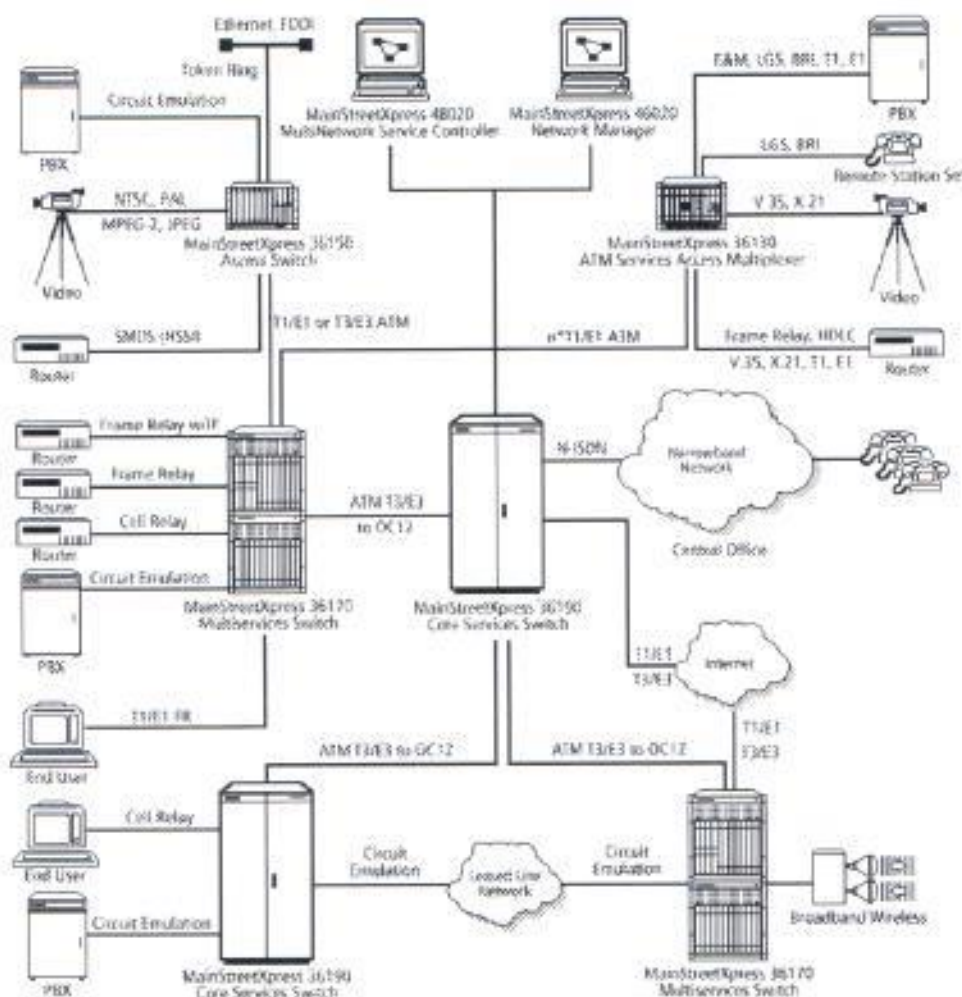


figura 5.2.- familia de equipos Newbridge

### 5.1.1.2.- El MainStreetXpress 36170

El MainStreetXpress 36170 es una plataforma de servicios universales de ATM de alta escalabilidad y capacidad. Interconecta y conmuta celdas entre T1, E1, T3, E3, OC3, STM1, OC12 y STM4.

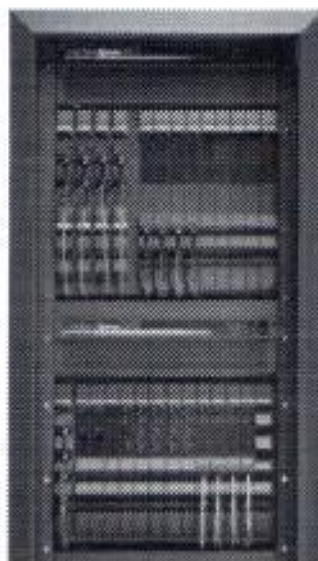


Figura 5.3.- MainStreetXpress 36170

Como un proveedor de servicios el MainStreetXpress 36170 es ideal para redes backbone que utilizan servicios múltiples usando PVCs y SVCs. Estos servicios incluyen:

- Cell relay
- Frame relay
- SMDS
- Emulación de circuitos
- Internetworking
- Servicios suplementarios de banda ancha

El MainStreetXpress 36170 soporta conexiones punto a punto y multipunto para PVCs, S-PVCs, SVCs.

El conmutador soporta toda la gama de rasgos de gestión incluyendo verificación de conectividad, vigilancia de alarmas y monitoreo de desempeño. EL monitoreo completo del desempeño de la red y de gestión de errores son soportados por el gestor de red MainStreetXpress 46020.



### 5.1.1.3.- El MainStreetXpress 46020



**figura 5.4.- MainStreetXpress 46020**

Este equipo es usado para configurar la red, manejar enlaces y caminos, monitorear los problemas de red y resolver los problemas desde la central.

Conexiones punto a punto a través de la red son establecidas simplemente pidiéndolas en los puntos finales

El MainStreetXpress 46020 utiliza una arquitectura de cliente –servidor escalable, para proveer acceso simultáneo a más de 128 operadores tan bien como una gestión efectiva de costos para redes que contienen más de 5000 y 100000 caminos de red. Adicionalmente estaciones de trabajo y servidores pueden ser agregadas fácilmente como las necesidades de crecimiento de gestión de la red.

Múltiples operadores pueden simultáneamente manejar la red desde diferentes puntos geográficos.

MainStreetXpress 46020 utiliza protocolos reconocidos internacionalmente, como el SNMP (Simple Network Management Protocol) y CMIP (Common Management Information Protocol).

El MainStreetXpress 46020 utiliza lo último en tecnologías de computación y base de datos. Con el sistema operativo Solaris y la arquitectura escalable dinámica de Informix, el MainStreetXpress 46020 tiene una capacidad potente de multiproceso.

El MainStreetXpress 46020 provee una vista de la red, nos da representaciones de items como nodos, tarjetas, puertos, ranuras de tiempo, canales y circuitos de tramas.

#### 5.1.1.4.- El MainStreetXpress 48020



**Figura 5.5.- MainStreetXpress 48020**

El MainStreetXpress 48020 es un componente clave de la familia de productos de servicios de gestión y red el MainStreetXpress .

El MainStreetXpress 48020 puede ser usado para direccionar una multitud de desafíos de gestión de red. Por ejemplo proveedores de servicios pueden querer consolidar la gestión de múltiples redes en una sola administración .

El MainStreetXpress 48020 puede ser usado por múltiples proveedores de servicios que quisieran trabajar conjuntamente par mejorar el nivel de servicios a sus clientes

El MainStreetXpress 48020 trabaja con el administrador de red MainStreetXpress 46020 y la red del 46020

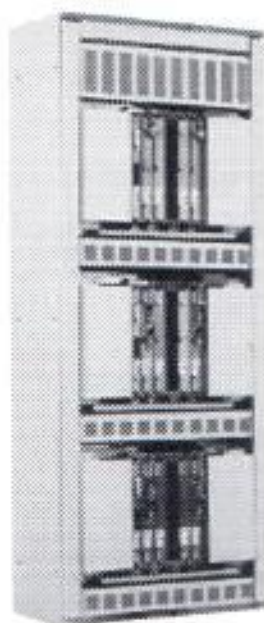
### 5.1.2.- Lucent

#### 5.1.2.1.- WaveStar trade; ADM 4/1

Es un multiplexor SDH que puede ser:

- Multiplexor Add- Drop
- Multiplexor Terminal
- Repetidor/Regenerador para STM-4

Este equipo es un multiplexor SDH add / drop muy compacto habilitado para señales de tributarios sincronos ó plesiócronicos en una o dos señales agregadas de 155 Mbps STM-1 , sean estas ópticas ó eléctricas.



**Figura 5.6.- WaveStar trade ADM 4/1**

Este equipo también multiplexar en dos señales agregadas de 622 Mbps STM-4 . Este también ofrece una capacidad completa de interfaz de tributarios STM-1 (63 VC12 o 3 VC3 o 1 VC4)

Es un elemento de red SDH modular y flexible que puede ser usado en algunas configuraciones de multiplexación y aplicaciones de red tales como modo STM-1 y modo STM4.

Este sistema tiene un mecanismo de protección avanzado para proteger la red y tener un sistema fiable.

Optimizado para redes STM1 y STM4, el Wave Star ADM 4/1 es usado idealmente como:

- Gateway entre redes plesiócronicas y redes sincronas
- Base para redes de fibra en anillo
- Multiplexor de línea simple ó doble para enlaces punto a punto.
- Multiplexor terminal simple o doble que alimenta equipos STM4 ó STM16.
- Multiplexor terminal ó multiplexor add/drop ubicados en el sitio del cliente para fibras de aplicaciones de negocios.
- Repetidor-regenerador económico para enlaces STM4.
- Solución económica para aplicaciones típicas como multiplexor add/drop STM4.

El Wave Star ADM 4/1 está equipado con seis slots para unidades plug-ins . Las unidades plug-ins incluyen unidad de transmisión y unidades de supervisión y canales de servicio

#### 5.1.2.2.- CBX 500 Multiservice WAN Switch



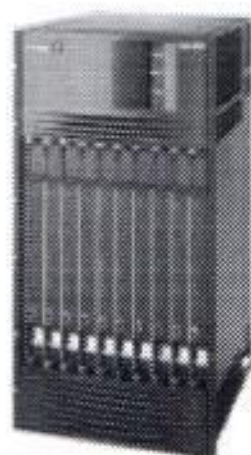
**Figura 5.7.- CBX 500 Multiservice WAN Switch**

Este conmutador es desarrollado como el núcleo de la red . este conmutador de 5 Gbps da servicios ATM , Frame Relay e IP . Un amplio rango de módulos de I/O permiten proveer servicios con puertos de velocidades superiores a 622Mbps, sobre cable de cobre o fibra óptica

Módulos de I/O son:

- 8-Port DS1/E1 ATM module
- 8-port DS3/E3 ATM module
- 4-Port OC-3/STM-1 ATM module
- 1-Port OC-12/STM-4 ATM module
- 4-Port Channelized DS3/1 frame relay/IP MPLS modules
- 4-Port Channelized DS3/1/0 frame relay/IP MPLS modules
- 6-Port DS3 frame relay/IP MPLS modules
- 4-Port Ethernet 10/100 LAN module

#### 5.1.2.3.- GX 550 Multiservice WAN Switch



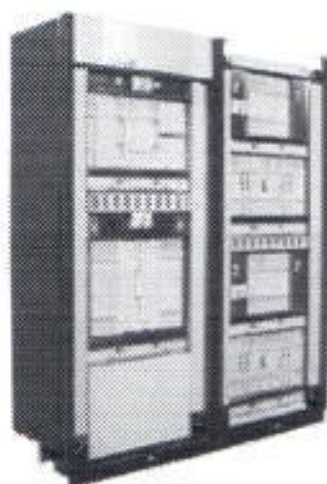
**Figura 5.8.- GX 550 Multiservice WAN Switch**

El conmutador GX 550 Multiservice provee servicios nativos de redes ATM y, frame relay , IP y MLPS . Este espectro de apoyo protocolar importante y los rasgos de disponibilidad extraordinarios del conmutador GX 550 mantienen el framework entregando una variedad de nuevos servicios desde una infraestructura aerodinámica, muy manejable, muy disponible .

Los beneficios más importantes de este equipo son:

- Infraestructura unificada que soporta transporte de DSL y agregación de cable MODEM , voz PSTN , voz inalámbrica, ATM , frame relay, IP, MPLSy líneas privadas.
- Niveles de servicio que agregan diferentes niveles de calidad de servicio aplicado a tráfico mixto dinámico de todos los protocolos y tipos de aplicaciones , para conferencias de video multicast .

#### **5.1.2.4.- WaveStar™ BandWidth Manager**



**Figura 5.9.- WaveStar™ BandWidth Manager**

WaveStar™ BandWidth Manager es un sistema de red modular capas de integrar acceso y transporte incluyendo conexión digital cross-conect en un único elemento de red. Dentro de este sistema se integra elementos de red tradicionalmente separados como multiplexores Add/Drop, banda ancha ATM, sistemas digitales cross-conect e IP.

El WaveStar™ BandWidth Manager es una plataforma de gestión de ancho de banda flexible e integra aplicaciones de anillo y Sonet/SDH. Es un sistema digital cross-conect que provee interfaces eléctricas y ópticas (incluyendo terminaciones directas de 4 fibras BLSR), un cross-couple 1152 STS-1/384 STM1 switch fabric, y redundancia.

El administrador de ancho de banda WaveStar™ ayuda a las pruebas futuras de su red que provee una plataforma escalable para una fácil respuesta a las demandas de crecimiento de su red. Las I/O, STM fabric y las ATM fabric pueden crecer independientemente para acoplar necesidades de servicios. A través de la gestión de ancho de banda, el sistema provee la forma óptima para acomodar el crecimiento en las capas de red ATM y SONET/SDH.

### 5.1.3.- Equipos a utilizarse

En base de todo lo analizado vamos a utilizar la solución para transporte de datos presentada por Siemens y Alcatel que consiste en equipos Newbridge 36170,36190,46020,48020. de los cuales vamos a presentar sus principales características:

#### **Main Street Xpress 46020**

##### Sumario técnico

##### Compatibilidad de hardware

- Amplio rango de servidores y Sun workstations.
- Manejador CD-ROM
- Conexión Ethernet LAN o WAN o ATM.

##### Compatibilidad de Software.

- Solaris Release 2.4 o superiores.
- X11R5-compliant X-server software (for X-terminal login support only)
- HP Open View (optional, for enhanced LAN management)

##### Productos relacionados

- Simulador de red.
- Statistics Collector™
- Administrador nodo de consumidor.
- OpenSNMP

- 4601A MainStreet
- Administrador de red auxiliar
- Controlador de servicios de múltiples redes MainStreetXpress 48020.
- Agentes VSN y VBN.
- Connect Exec
- Administrador de elementos MainStreetXpress 45020
- Administrador de sistemas VIVID™
- CSM Service Director™
- Customer X-Station
- Agente CSM Frame Relay SNMP.
- Agente CSM Cell Relay SNMP.

#### Administración de conexión y configuración.

- Soporta más de 5,000 nodos y 100,000 conexiones punto a punto.
- Vista de la configuración de un usuario de red.
- Algoritmo de re-enrutamiento con 16 niveles de prioridad.
- Re-enrutamiento selectivo en conexiones individuales.
- Parámetros definidos por el usuario para dirigir rutas, como evitar enlaces satelitales ó utilizar métodos de encriptamiento.
- Listado y resaltamiento de nodos, enlaces y caminos.
- Presentación gráfica de velocidades utilizadas en los enlaces.
- Soporte de red que cubre ATM, frame relay, subrate y ADPCM.

#### Administración de errores.

- Representación gráfica de dispositivos fallidos, permitiendo el aislamiento de algún nodo, tarjeta, Puerto, circuito y enlace afectado.
- Recuperación de fallas a través conmutación de destino alterna de el camino primario fallado.
- Reporte de alarmas en tiempo real.
- Diagnósticos remotos muy sofisticados.

#### Administración de desempeño.

- Presentación gráfica en tiempo real de estadísticas a través de el colector de estadísticas.
- Soporte para planeamiento y diseño de la red a través de el simulador de red.

#### Administración de la contabilidad.

- Reporte de uso por camino, por tiempo, por día a través del colector de estadísticas.

#### Administración de seguridad.

- Protección doble de password para todos los operadores de cuenta.

#### Cumplimiento de Standards.

- International Telecommunications Union (ITU) Telecommunications Management Network model, X11R5

- Network Management Forum OMNIpoint
- International Standards Organization (ISO) CMIP and SGML
- Internet Engineering Task Force SNMP
- ATM Forum

## 36190

### Resumen Técnico

#### General

- Redundancia completa.
- Conexiones virtuales ATM conmutadas y permanentes.
- Completo cumplimiento de standards en capa de procesamiento ATM.
- Soporta QoS del ATM Forum y el ITU-T.
- Sin límites de VPI/VCI en el rango UNI, NNI
- Conexiones multipunto capa ATM.
- Multicast lógico y especial.
- Funciones completas de la capa ATM.
- Probabilidad de pérdidas  $<10^{-10}$

#### Servicios Cell Relay ATM.

- ATM UNI/NNI en todos los puertos.
- Multiplexación inversa para ATM (8 x T1/E1).

#### Servicios Frame Relay.

- Frame relay UNI/NNI (FRF.1/FRF.2)
- Frame relay/ATM PVC Network Interworking (FRF.5)
- Frame relay/ATM PVC Service Interworking (FRF.8)

#### Servicio de emulación de circuitos.

- Interworking to public N-ISDN
- 64 kbit/s trunk switching

#### Señalización.

- NNI
  1. ATM Forum PNNI, B-ICI
  2. ITU-T/ANSI CCS7 for broadband signaling (B-ISUP, MTP)
  3. ITU-T/ANSI CCS7 for narrowband signaling (N-ISUP, MTP)
  4. VB5
- UNI
  1. ATM Forum UNI 3.1/4.0
  2. ITU-T DSS2 (Q.2931)

#### Soporte para servicios de red.

- Carrier Scale Internetworking™
- IN services (SSP, INAP)
- Value-add services



Interfaz física: General.

- Slots tarjeta universal para línea/trunk.
- Tarjetas línea 16 multipuerto de alta densidad para estante universal.
- Fully software upgradable
- Hot insertion and removal of cards

Interfaz física: ATM.

PDH Electrical:

- 8-port T1/E1 1.5/2 Mbit/s
- 8-port T3/E3 45/34 Mbit/s SDH/SONET Electrical/Optical:
- Multiport OC-3c/STM-1 155 Mbit/s
- OC-12c/STM-4 622 Mbit/s
- OC-48/STM-16 2.4 Gbit/s
- Contiguous payload, non-concatenation and virtual concatenation

Interfaz física: CES.

- 8-port T1 1.5 Mbit/s circuit emulation, n\*64 kbit/s CES
- 8-port E1 2 Mbit/s circuit emulation, n\*64 kbit/s CES
- Each port individually configurable as channelized or unchannelized
- T3 45 Mbit/s circuit emulation, n\*1.5 Mbit/s CES

Interfaz física: Frame Relay

- 8-port T1 1.5 Mbit/s frame relay, unchannelized, channelized, fractional
- 8-port E1 2 Mbit/s frame relay, unchannelized, channelized, fractional
- Each port individually configurable

Gestión de tráfico.

- Optimal support of bursty data traffic (nrt-VBR, ABR and UBR)  
Explicit and binary feedback for ABR traffic  
Early and partial packet discard
- Optimal support of real-time traffic (CBR, rt-VBR)
- Industry-leading statistical multiplexing of non-real-time and real-time traffic:  
Per-VC queuing  
Weighted Fair Queuing  
Sophisticated buffer management and traffic control
- Traffic shaping
- Dual Leaky Bucket Usage Parameter Control and Network Parameter Control
- Support of CLP bit handling

Servicio de gestión de nodos.

- Administración de la configuración de usuario con datos históricos.
- Administración de fallas.
- Ejecución del comando Time-scheduled.

- Mapas gráficos de red.
- Funciones de diagnóstico de alarma que incluyen análisis y filtrado multinivel.
- Recuperación de servicios automática (reruteo).
- Administración usuario en virtual private networks (VPNs)
- Identificación de seguridad en multinivel.
- Control completo sobre todos los equipos de conmutación: Puertos, tarjetas, estantes.
- Funciones de administración de ancho de banda para VPs y VCs.
- Interface de administración CMIP (Q3).
- Soporte completo CMIP.
  1. ITU-T compliant
  2. ATM Forum M4 Element View

#### Servicios de gestión de red.

- Reporte basado en tiempo y uso.
- Reporte de administración basado en grabadora AMA (automatic message accounting).
- Administración de alarma centralizada con notificación alarma visual y audible.
- Software centralizado de gestión de administración.
- Representación gráfica del estado de los datos.
- Control de operación configurable totalmente sobre los privilegios de acceso usuario CNM (customer network management)

#### Cumplimiento de Standards.

- ATM Forum
- ITU-T
- ETSI
- ANSI
- Bellcore

#### Fiabilidad y disponibilidad.

- Redundancia de línea y board (1+1, 1:n).
- Reparación en servicio.
- Redundancia de alimentación, y unidades de procesamiento y conmutación.
- upgrades en servicio (local y remota).
- Tiempo total fuera de servicio del sistema (todas las causas) <2 min/año.

#### Capacidad y Rendimiento.

- Plataforma Multiprocessor a 2.5 millones BHCA
- Escala de eficiencia total a 160 Gbit/s en incrementos de 5 Gbit/s.
- Escala de arquitectura a 1 terabit/s (1,000 Gbps) y superiores.
- 2,000,000 VPCs y VCCs como máximo por conmutador.
- Large data buffering (224 k cells input and 224 k cells output buffer per 2.4 Gbit/s traffic)

**Dimensiones (Alto /ancho/profundidad)**

- Configuración Single rack  
213.4/220 x 90 x 60 cm  
84/86.5 x 35.5 x 23.6 in.
- Configuración Multiple rack  
213.4/220 x 88 x 60 cm  
84/86.5 x 34.6 x 23.6 in.

**Ambiente**

- Operación normal: 5° a 40° C (41° a 104° F)
- Operación extrema: -5° a 49° C (24° a 120° F)
- EMC a FCC Parte 15 Subparte B EN 55022 Clase B, EN 50082-2.
- Seguridad a UL 1950, EN 60950
- Cumplimiento NEBs .

**36170****Resumen Técnico****General**

- Redundancia completa, Memoria de salida (ideal).
- Conexiones ATM virtuales conmutadas y permanentes.
- Cumplimiento de Standards en capa de procesamiento ATM.
- Multiplexación estática escalable para tráfico ABR/ UBR.
- Rango ilimitado de VPI/VCI en UNI, NNI
- Soporte para manejo de bit CLP.
- Conexiones multipunto capa ATM.
- Multicast especial.
- Funciones de capa ATM.
- Probabilidad de pérdida de celda <10<sup>-10</sup>.

**Cell Relay**

- Interfaz UNI : Octal T1/E1 ATM con opción de multiplexación inversa, triple T3/E3, STM1 SMF, IR/LR eléctrica, STM1 MMF, OC3 SMF, IR/LR eléctrica, OC3 MMF
- Interfaz de red: Triple T3/E3 NNI redundancia opcional 1+1, Octal T1/E1 con opción de multiplexación inversa, STM1 SMF, IR/LR con redundancia opcional 1+1, OC3 SMF, IR/LR redundancia 1+1, STM4 SMF redundancia 1+1, OC12 SMF redundancia 1+1.

**Frame Relay**

- Interfaz UNIs: T1/E1 Octal frame relay sin canalizar, Quad T1/E1 frame relay canalizado, T3/E3 frame relay
- Interfaz de red: T1/E1 frame relay
- FR/ATM Service Interworking — FRF.8
- FR/ATM Network Interworking — FRF.5

**Circuit Emulation**

- T1/E1 Octal emulación de circuitos canalizado /sin canalizar, T3/E3 emulación de circuitos canalizado con redundancia  $n+1$ .

**Internetworking**

- IP sobre frame relay y PPP sobre T1/E1 y T3/E3.
- IP sobre ATM.

**Velocidad de datos**

- T1: 1.544 Mbit/s
- E1: 2.048 Mbit/s
- T3: 45 Mbit/s
- E3: 34 Mbit/s
- OC3: 155 Mbit/s
- STM1: 155 Mbit/s
- OC12: 622 Mbit/s
- STM4: 622 Mbit/s

**Switching Fabric**

- 12.8 Gbit/s
- Escalable
- Non-blocking
- Redundancia opcional

**Estantes de conmutación**

- 1 por nodo
- 2 por nodo para redundancia

**Estante Peripheral.**

- Mas de 64 por nodo
- 12 ranuras universales para tarjetas por estante.

**Ranuras y puertos**

- Más de 768 ranuras por nodo.
- Densidad de interfaz simple, triple , cuádruple y octal

**Fuentes de sincronización**

- BITS 1.544 Mbit/s o G.703 2.048 Mbit/s externo
- Línea derivada
- Interna (FreeRun)

**PVCs**

- 32,000 bidireccionales por nodo.
- Punto a punto y punto multipunto
- unidireccional, bidireccional, simétrica y asimétrica.

**Señalización SVCs**

- ITU Q.2931, Q.2961
- ATM Forum UNI V3.1, UNI V4.0, PNNI
- V1.0, B-ICI V2.0 (B-ISUP)
- IISP V1.0 con propiedades de detección de lazo

**Ruteo**

- Ruteo estático
- Ruteo dinámico ATM Forum PNNI V1.0

**S-PVCs**

- 32,000 bidireccional punto a punto

**Administración de tráfico**

- Bellcore GR-001110-CORE, GR-001248-CORE, y especificaciones de gestión de tráfico versión 4.0, ITU I.371, VS/VD y completo ABR como por las especificaciones gestión de tráfico del ATM Forum versión 4.0
- ABR, VBR, CBR, rt-VBR, nrt-VBR
- Soporte eficiente de tráfico en tiempo real (CBR, rt-VBR)
- Multiplexación estática de tráfico de tiempo real y de no tiempo real.
- Encolamiento Para-VC.
- Regular encolamiento pesado.
- Soporte de manejo de bit CLP.
- Tráfico compartido.

**Soporte SNMP**

- MIB II del RFC 1213
- Interface Table MIB del RFC 1573
- SONET MIB del RFC 1595
- DS3/E3 MIB del RFC 1407
- ATM Interfaces MIB del RFC 1695
- ILMi MIB del ATM Forum UNI V3.1
- Emprer MIB para PVC estático
- Servicios Frame relay MIB

**Soporte CMIP**

- Elementos del ATM Forum M4
- Bellcore (GR-1114)
- Frame Relay MIB (GR-1379)
- Physical MIB (GR-836)

**Servicios de administración de red**

- Reporte de gestión basado en AMA (Automatic Message Accounting).
- Administración de alarma centralizada con notificación de alarma visual y audible.
- Software de administración centralizado.

- Cambio de equipos censado automáticamente.
- Presentación gráfica múltiple del estado de los datos.,

#### **Potencia**

- Típicamente 600W por estante.
- 48/60 V DC
- Opcional AC powering

#### **Descripción física del estante Peripheral.**

- Dimensiones:
  - 48 cm (19 in) high
  - 49 cm (19.25 in) wide
  - 30 cm (12 in) deep
- 11 VU with fans and integrated alarm panel, 18 kg (40 lbs)

#### **Descripción física del estante de conmutación.**

- Dimensions:
  - 48 cm (19 in) high
  - 55 cm (21.75 in) wide
  - 30 cm (12 in) deep
- 12 VU, 20 kg (44 lbs)

#### **Ambiente de operación**

- EMC a FCC Parte 15, Industria Canada CES-003, EN 55022, EN 50082-1
- Seguridad de CSA C22.2 No. 950, UL1950, EN 60950
- Network attachment to FCC Part 68, CTR 12, Industry Canada CS-03
- Ambiente a GR-63-CORE (NEBS)
- 0° to 40° C (32° to 104° F)
- Humedad relativa 5% to 95%.
- 60 m (197 ft) bajo el nivel del mar y 1800 m (5905 ft) sobre el nivel del mar

### **48020**

#### **Resumen técnico**

#### **Requirimientos de sistema**

Para servidor de base de datos y servidor delegado de estación.

- Sun Workstation or server
- Sistema operativo Solaris 2.5
- OpenWindows 3.4

Para X-Terminal Access

- PC Desktop o workstation que pueda ser usado como un X-terminal
- Conexión Ethernet LAN o WAN en el Delegate Station server
- X11Rel 5 compliant X-server software

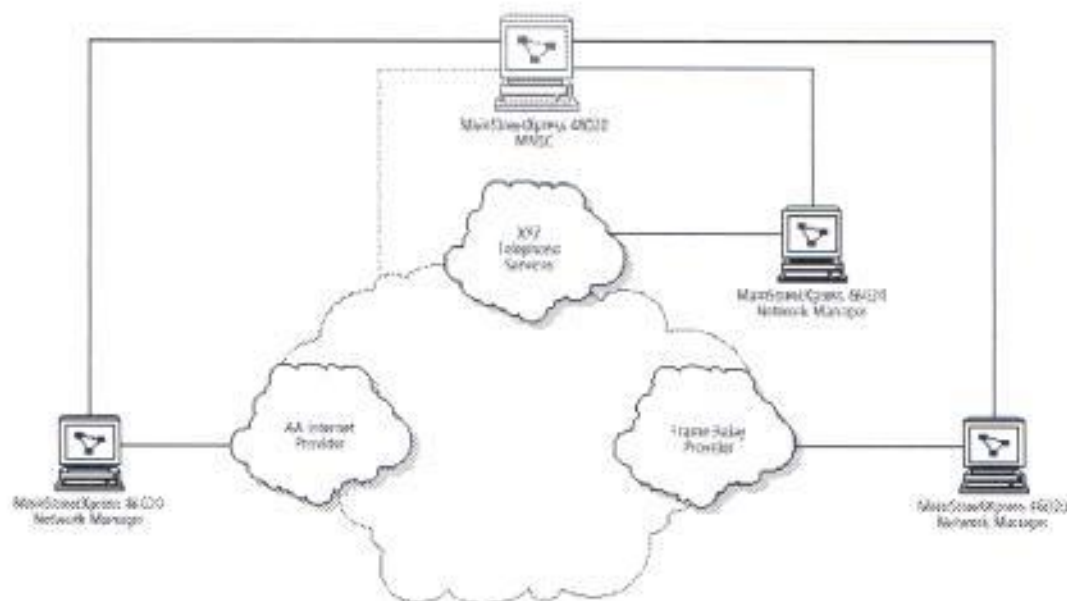
- Software de comunicación TCP/IP
- Microsoft Windows versión 3.0 o superior (requerido solo para PC-basada en X-terminals)

Para sistemas MainStreetXpress 46020

- Gestor de red MainStreetXpress 46020 REL 1.2 o superior (formalmente conocido como el 46020 MainStreet Network Manager)

### Características y beneficios

- Habilita a los proveedores de servicio para ofrecer diferentes servicios de valor agregado
- Habilita a los proveedores de servicios para que incrementen las ofertas a sus clientes.
- Incrementación de su infraestructura.
- Permite trabajar con otros proveedores de servicio, haciendo esto posible la oferta de servicios de administración globales.
- Permite a los proveedores de servicios acceder a las plataformas tecnológicas que de otra forma resultarían demasiado caras.
- Consolidación de administración de redes en ambientes multiservicios y multitecnológicos.
- Habilita una rápida provisión de servicios a través de redes múltiples.
- Permite a los clientes ver y controlar VPNs dentro de la red proveedora de servicios.



**Figura 5.10.- proveedor de servicios usando el MainStreetXpress 48020 MNSC para administrar un número de sistemas de red.**

Para el transporte de datos vamos a utilizar el multiplexor **WaveStar trade; ADM 4/1** presentado por Lucent cuyas características principales son:

## **WaveStar trade; ADM 4/1**

### **Especificaciones Técnicas**

Lista de características

El multiplexor WaveStar ADM 4/1 Add & Drop Synchronous tiene las siguiente lista de características en su sistema :

Interfaz de agregado:

- STM-1 Short & Medium Haul Optical (S-1.1: 18 dB, 1310 nm)
- STM-1 Long Haul Optical (L-1.1 28 dB, 1310 nm)
- STM-1 Long Haul Optical (L-1.2/L1.3 28 dB, 1550 nm)
- STM-1 Electrical interface (In-Station)
- STM-4 Short & Medium Haul Optical (S-4.1 11 dB, 1310 nm)
- STM-4 Long Haul Optical (L-4.1: 24 dB, 1310 nm)
- STM-4 Long Haul Optical (L-4.2/L4.3: 24 dB, 1550 nm)

Interfaz de tributario:

- Canal de 2 Mbit/s, 75 o 120 Ohms Asíncrono con 16 o 32 interfaces por tarjeta.
- Canal de 34 o 45 Mbit/s con 1 interfase por tarjeta.
- Canal STM-1 Tributario Eléctrico con 1 interfase por tarjeta limitado a 21 TU-12, 1 TU-3 o 1 VC-4 cross-conexión únicamente.
- Canal STM-1 Tributario Eléctrico (2G) con 1 interfase por tarjeta que provee mas de 63 TU-12, 3 TU-3 o 1 VC-4 cross-connection. Canal STM-1 Tributario Óptico (2G) con 1 interfase por tarjeta (type S-1.1, L-1.1 o L-1.2/L1.3) que provee mas 63 TU-12, 3 TU-3 o 1 VC-4 cross-connection.
- Canal STM-1 Tributario Eléctrico (2G) con 1 interfase por tarjeta que provee mas de 63 TU-12, 3 TU-3 o 1 VC-4 cross-connection.
- Canal STM-1 Tributario Óptico (2G) con 1 interfase por tarjeta (type S-1.1, L-1.1 o L-1.2/L1.3) que provee mas de 63 TU-12, 3 TU-3 o 1 VC-4 cross-connection.

Interfaz de sincronización

- Derivación de tiempo de línea STM-1 y STM-4.
- Derivación de tiempo de tributario STM-1
- Derivación de tiempo de tributario 2 Mbps.
- Uno o dos entradas de reloj de 2 MHz para sincronización del sistema.



Referencia de temporización :

- Generador de tiempo de 4,6 ppm sobre 7 días.
- Continuidad de fase y frecuencia en Fuentes de tiempo switch-over
- Generador de tiempo con Holdover

Interfaz de operación

- Equipo indicador de señalización de alarma.
- Interfaz de señalización alarma en la estación
- Interfaz-F para sistemas control local (LCS-155)
- Interfaz Q-LAN para la conexión con elemento gestor de red ITM-SC o para interconexión de co-located ADM 4/1 y otros elementos de red SDH.

### Fibra Óptica

La fibra óptica a utilizar es suministrada por la empresa Lucent .

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Esta especificación cubre la óptica en general y los requerimientos de construcción para cables de telecomunicaciones de fibra óptica usados en ductos subterráneos enterrados directamente y la instalación del cable aéreo.
- La fibra óptica será: monomodo y de alto grado de material de sílice (basado en las recomendaciones CCITT G.652).

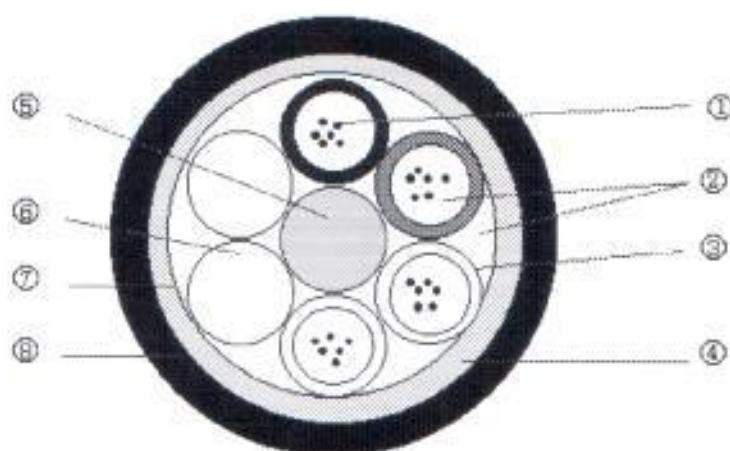


Figura 5.11.- Cable de fibra óptica

Items		Specified values
Modo Diámetro de campo		9.5 $\mu$ m $\pm$ 8%
Modo error de concentración de campo		Max. 1 $\mu$ m
Diámetro revestimiento		125 $\mu$ m $\pm$ 2.4%
Revestimiento no – circular		Max. 2%
Recubrimiento		245 $\pm$ 20 $\mu$ m
Longitud de onda de corte (2-m fibra)		1100 - 1330 nm
Dispersión cromática	Entre 1290-1330	Max. 3.5 ps/nm.Km
coeficiente	en 1550 nm	Max. 20 ps/nm.Km
Longitud de onda de dispersión nula		1300-1322 nm
Pendiente de la dispersión cromática		Max. 0.095 ps/nm <sup>2</sup> .km
Atenuación	en 1310 nm	Menor que: 0.4 dB/Km
Coeficiente	en 1550 nm	Menor que: 0.3 dB/Km

**Tabla 5.1.- Especificaciones técnicas del cable de fibra óptica**

## 5.2. - Costos totales.

Vamos analizar los costos involucrados en la implementación de nuestra red de banda ancha . Realizaremos este análisis por partes empezando por los costos de los diferentes tipos de fibra óptica :

### Costos de Fibra óptica.

Los precios para la fibra óptica son dependientes de:

- 1.- Tipo de cable (Construcción)
- 2.- Longitud (Cantidad)
- 3.- Cantidad de filamentos

Los precios siguientes:

Cable 4 filamentos monomodo aéreo autoportado - US\$ 2,99 por metro - 5 Km.

Cable 8 filamentos monomodo aéreo autoportado - US\$ 2,95 por metro - 5 Km.

Cable 4 filamentos subterráneo DX04-W3SB/1UC-900-ARMER \$2.64/m

Costo total de fibra aérea:  $12519.3 * 2.99 = \text{US\$ } 37,432.707$ .

Costo total de fibra subterránea :  $2261398.07 * 2.64 = \text{US\$ } 5'970,090.9048$

Costo total en fibra :  $\text{US\$ } 37,432.707 + \text{US\$ } 3'858,228 = \text{US\$ } 6'007,523.6118$

### Costos de los equipos:

Los precios de los equipos es dependiente de la configuración de los mismos:

- 1.- Capacidad (E1, STM-1, STM-4, STM-16,...)
- 2.- Arquitectura de red
- 3.- Longitud de los tramos
- 4.- Seguridad y respaldo
- 5.- Sistemas de gestión

EQUIPO	COSTO UNITARIO (dólares)	CANTIDAD	TOTAL (dólares)
Conmutador MainStreetXpress 36170	27,500.00	25	687,500.00
Tarjetas de interfaz frame relay	1,500.00	6	9,000.00
Tarjetas de interfaz ATM	2,300.00	19	43,700.00
Administrador de red Main Street Xpress 46020	15,000.00	1	15,000.00
Multiplexor STM1	7,000.00	10	70,000.00
Multiplexor STM4	8,000.00	18	144,000.00
Amplificador óptico	300.00	57	17,100.00
Conectores ópticos	4.75	453	2,151.75
		<b>TOTAL</b>	<b>988,451.75</b>

### Costos por concesión.

MOP - El ministerio de obras Públicas recibe como derechos por los permisos de ocupación y uso de las vías un valor de US\$ 50 por kilómetro año

Costo del MOP =  $50 * 2262.65 = \text{US\$ } 113,132.5$  anuales

CONATEL.- El consejo Nacional de Telecomunicaciones cobra por derecho de concesión de servicios portadores un valor que se desglosa de la siguientes forma:

Valor fijo : US\$ 10.000 por cada año de concesión.

Valor variable: 6% de la facturación bruta que se tenga.

Valor total anual :  $\text{US\$ } 113132.5 + \text{US\$ } 10000 = \text{US\$ } 123132.5$

### Costos de Instalación

Los costos por instalación de las obras serán los siguientes :

Para la operación de desbroce se utilizara maquinaria que tiene el siguiente costo:

Tractor: US\$ 30 /hora

Costo :  $30 * 301 * 8 = \text{US\$ } 72240$

Para Excavación se utilizará maquinaria con el siguiente costo:

Retroexcavadora : US\$ 20 / hora

Costo :  $20 * 750 * 8 = \text{US\$ } 120000$

Para relleno y compactación se utilizará maquinaria con el siguiente costo:

Aplanadora :  $15 * 750 * 8 = \text{US\$ } 90000$

<b>Maquinaria</b>	<b>Costo US\$</b>
Tractor	72240
Retroexcavadora	120000
Aplanadora	90000
	<b>US\$ 282240</b>

### **Valor de la inversión.**

	<b>Costo US\$</b>
Costos de Fibra óptica.	6'007,523.6118
Costos de los equipos:	988,451.75
Costos por instalación	282240
Costos por concesión.	123132.5
	<b>US\$ 7'401347.8618</b>

## Capítulo VI

### ESTUDIO DE LOS ASPECTOS LEGALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE BANDA ANCHA.

En los actuales momentos el sistema nacional de telecomunicaciones se encuentra manejada exclusivamente por el estado, con la ayuda del CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) que es un ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país, SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) creado como ente encargado de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país, y SUPTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) que se creó, entre otras cosas para regulación y supervisión de las actividades de telecomunicaciones.

En este capítulo presentaremos un análisis de todas las reglas y procedimientos, normas técnicas y tarifarias con las que debería cumplir una empresa de servicios portadores de telecomunicaciones en nuestro país, también el reglamento para la interconexión y conexión entre redes y sistemas de telecomunicaciones. Empezaremos nuestro análisis por la ley especial de telecomunicaciones:

#### 6.1. - Ley Especial de telecomunicaciones

La Ley Especial de Telecomunicaciones tiene por objeto normar en el territorio nacional la instalación, operación, utilización y desarrollo de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, sonidos e información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos y otros sistemas electromagnéticos. El Estado formulará, dictará y promulgará reglamentos de normalización de uso de frecuencias, explotación de servicios, industrialización de equipos y comercialización de servicios, en el área de telecomunicaciones, así como normas de homologación de equipos terminales y otros equipos que se considere conveniente acordes con los avances tecnológicos, que aseguren la interconexión entre las redes y el desarrollo armónico de los servicios de telecomunicaciones.

Es atribución del Estado dirigir, regular y controlar todas las actividades de telecomunicaciones.

Según definición de la ley de telecomunicaciones (artículo 8 literal b) servicios portadores son aquellos servicios de telecomunicaciones que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de señales entre puntos de terminación de red definidos.

En este tipo de servicio existen 2 modalidades:

- Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones conmutadas para enlazar los puntos de terminación, tales como la transmisión de redes de datos por redes de

conmutación de paquetes, por redes de conmutación de circuitos, por la red conmutada o por la red telex.

- Servicios que utilizan las redes de telecomunicación no conmutadas. Pertenecen a este grupo, entre otros, el servicio de alquiler de circuitos.

Los servicios portadores se prestarán a través de EMETEL ó de las compañías que resulten de su escisión durante el periodo de exclusividad regulada – que se indicará más adelante-

Según el Artículo 16 se deberá coordinar con El Ministerio de Obras Públicas, la ejecución o supresión de obras relacionadas con líneas físicas de telecomunicaciones en las carreteras que sean construidas o modificadas por el Ministerio de Obras Públicas o por entidades municipales y provinciales.

### **6.1.1.- Tasas y Tarifas**

La prestación de cualquier servicio de telecomunicaciones por medio de empresas legalmente autorizadas, está sujeta al pago de tarifas que serán reguladas en los respectivos contratos de concesión, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 22 que dice lo siguiente: “Los pliegos tarifarios entrarán en vigencia una vez que hayan sido aprobados por el ente regulador de las telecomunicaciones. El ente de regulación de las telecomunicaciones aprobará los pliegos tarifarios siempre y cuando el o los operadores justifiquen satisfactoriamente que han dado cumplimiento a las obligaciones establecidas en los correspondientes contratos de concesión.”

Los pliegos tarifarios de cada uno de los servicios de telecomunicaciones serán establecidos por el ente regulador.

Los criterios para la fijación de los pliegos tarifarios podrán determinarse sobre las bases de las fórmulas de tasa interna de retorno y tope de precio aplicadas en la industria telefónica, por los diferentes servicios efectuados por las operadoras. El ente regulador podrá, así mismo, utilizar combinaciones de estas fórmulas en salvaguarda de la eficiencia y del interés de los usuarios, con el objeto de promover la competencia leal entre los operadores.

### **6.1.2.- Sanciones**

La ley de telecomunicaciones contempla como infracciones los siguientes puntos:

- La conexión de otras redes a la red de telecomunicaciones sin autorización o en forma distinta a la autorizada o a lo previsto en esta Ley y sus Reglamentos
- La instalación, la utilización o la conexión a la red de telecomunicaciones de equipos que no se ajusten a las normas correspondientes
- La producción de daños a la red de telecomunicaciones como consecuencia de conexiones o instalaciones no autorizadas;

Se consideran infracciones graves las siguientes:

- La conducta culposa o negligente que ocasione daños, interferencias o perturbaciones en la red de telecomunicaciones en cualquiera de sus elementos o en su funcionamiento
- La alteración o manipulación de las características técnicas de los equipos, aparatos o de terminales homologados o la de sus marcas, etiquetas o signos de identificación
- La producción deliberada de interferencias definidas como perjudiciales en el Convenio Internacional de Telecomunicaciones.

Todas estas infracciones cometidas contra los medios y servicios de telecomunicaciones serán sancionados de conformidad con lo dispuesto en el código penal.

### **6.1.3.- Concesiones y exclusividad**

La ley de telecomunicaciones contempla en el artículo 53 un régimen de exclusividad para la compañía EMETEL S.A. o a las compañías resultantes de su escisión y la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA) y están autorizadas para explotar en régimen de exclusividad temporal y regulada dentro de la región concesionada, todos los servicios de telefonía local, nacional e internacional, servicio de portador incluyendo el arrendamiento de líneas y circuitos, alámbricos e inalámbricos, en la forma y por el tiempo determinado en la presente Ley. El régimen de exclusividad regulada en el ámbito local, nacional e internacional tendrá una duración de sesenta meses (5 años), contados a partir de la venta de las acciones de la compañía anónima, de acuerdo a la presente Ley. Cumplido el plazo antes establecido, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) autorizará que otros operadores exploten, en régimen de competencia, servicios equivalentes a los mencionados anteriormente.

## **6.2.- Reglamento general a la ley especial de telecomunicaciones y a la ley reformativa a la ley especial de telecomunicaciones.**

El reglamento general a la ley especial de telecomunicaciones tiene por objeto desarrollar los principios establecidos en la ley especial de telecomunicaciones, con la finalidad de establecer las normas y procedimientos generales aplicables a las funciones de regulación, gestión y control de la prestación y operación de los servicios de telecomunicaciones; así como para proteger sin discriminación algunos intereses y derechos de los operadores y usuarios.

### **6.2.1.- Concesiones, permisos y autorizaciones**

Las prestaciones de los servicios portadores se van a brindar requieren de una



concesión.

Según el artículo 78 de este reglamento, previa decisión del CONATEL, la SENATEL otorgará concesiones, permisos y autorizaciones a personas naturales o jurídicas domiciliadas en el ECUADOR, que tengan capacidad técnica y financiera para prestar servicios de telecomunicaciones. La secretaria informa al CONATEL de la entrega de cada solicitud para una concesión o permiso, dentro de 6 días hábiles contados desde su recepción. La SENATEL dará a conocimiento del público los datos generales de cada solicitud de concesión y de permisos, así como los plazos para su procesamiento, y convocará una audiencia pública para su consideración siempre y cuando así lo requieran las normas establecidas por el CONATEL.

Para la modificación de las características técnicas y de operación de los equipos y sistemas, así como de la variedad o la modalidad de los servicios otorgados, se requerirá la autorización escrita de la secretaria, siempre y cuando no cambie el objeto de la concesión o permiso de que se trate; caso contrario las modificaciones propuestas deben ser sometidas a CONATEL para su aprobación.

### **6.2.2.- Concesiones en telecomunicaciones**

El contrato de concesión, como mínimo deberá contener (mencionamos los más importantes):

- La descripción del servicio objeto de la concesión, sus modalidades de presentación y su área geográfica de cobertura.
- Periodo de vigencia de la concesión.
- Grado de competencia de la prestación de servicio.
- Los criterios para la fijación y ajuste de las tarifas.
- El plan mínimo de expansión y calidad de servicio.
- Los requerimientos generales de interconexión.
- Potestad del estado para revocar la concesión cuando el servicio no sea prestado adecuadamente y a sumir su prestación expresamente para mantener la continuidad de los servicios de telefonía, según establece este reglamento.
- La forma de extinción del contrato, sus causales y consecuencias.

### **6.2.3.- Tarifas**

El CONATEL establecerá en los pliegos tarifarios las tarifas máximas para todos los servicios de telecomunicaciones, considerando previamente las propuestas que por este concepto presenten a la secretaria, las operadoras debidamente habilitadas. Para ello, utilizarán los mecanismos aplicables y las prerrogativas de ajuste tarifario

descritos en los respectivos contratos de concesión tales como: tope de precio, tasa interna de retorno, o una combinación de estos.

Según lo expuesto en este reglamento las operadoras de servicios públicos de telecomunicaciones podrán fijar libremente sus precios siempre y cuando no excedan las tarifas máximas establecidas por el CONATEL, se hayan cumplido con el plan de expansión y de calidad de servicio.

Las nuevas tarifas deberán ser publicadas por lo menos dos veces, en dos diarios de amplia circulación y entrarán en vigencia siete días después de la última publicación.

### **6.3. - Reglamento Para la Prestación de Servicios Portadores**

Como ya se mencionó la explotación de servicios portadores, requiere de una concesión otorgada por la SENATEL, previa autorización del Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL.

#### **6.3.1. - Concesiones**

La SENATEL, luego del periodo de Exclusividad regulada definido en la ley de Telecomunicaciones, podrá otorgar concesiones para explotar sistemas de telecomunicaciones destinados a la prestación de servicios portadores a cualquier persona natural y jurídica que compruebe tener capacidad técnica, legal y económica adecuada para explotar la concesión que solicita.

La duración de la concesión de servicios portadores no podrá ser mayor de 16 años, renovable por igual periodo a solicitud escrita del concesionario con dos años de anticipación a la fecha de vencimiento, siempre y cuando el solicitante haya dado fiel cumplimiento a las obligaciones que le impone la concesión y las disposiciones legales correspondientes.

Para la presentación de una solicitud de concesión a la SENATEL esta deberá ser acompañada por los antecedentes legales de constitución de la sociedad, capital suscrito, capital pagado y plazos para completar el saldo del capital suscrito, si lo hubiese. Asimismo se deberá indicar el nombre del representante legal y demás antecedentes que demuestren la capacidad técnica, legal y económica de la sociedad para explotar el sistema de telecomunicaciones.

La solicitud de concesión deberá especificar lo siguiente:

- Descripción de cada servicio portador a ser ofrecido, precisando los puntos de terminación de red, con especificaciones completas de las características técnicas y operacionales.
- Se indicará, para cada servicio, las normas de calidad a ser garantizadas.

- Se indicará, para cada servicio, la estructura tarifaria a aplicarse.
- Area de cobertura solicitada de la concesión.
- Duración solicitada de la concesión (menor a 16 años).
- Cronograma de actividades hasta la fecha de inicio de prestación de servicio.
- Descripción del sistema de telecomunicaciones a explotar.
- Medidas previstas que permiten asegurar que el sistema de telecomunicaciones se ajustará a las normativas técnicas aplicables.
- Inversión inicial programada, aplicaciones futuras del sistema y nuevas inversiones previstas.
- En caso de requerirse la construcción de obras: programas de ejecución de las mismas, pruebas de aceptación de equipos y sistemas y de puestas en servicio de las instalaciones.

### **6.3.2.- Tramitación de solicitud de concesión:**

La solicitud de concesión va a tener el siguiente trámite:

Se entregará a la SENATEL la solicitud de concesión de servicios portadores, y esta verificará si la información suministrada se ajusta a los requerimientos.

Si llegase a faltar alguna información la SENATEL hará esta notificación para que en el plazo de 10 días hábiles se subsane la omisión.

Luego de esto la SENATEL informará al CONATEL dentro del plazo de 6 días hábiles de la recepción de la solicitud, luego en los 60 días hábiles siguientes la secretaria deberá evaluar la solicitud y enviar un informe de la misma al CONATEL.

El CONATEL dentro de los 90 días hábiles siguientes a la recepción del informe de la SENATEL, de considerar procedente la solicitud, aprobará el otorgamiento de la concesión y establecerá el plazo dentro de la cual la SENATEL deberá suscribir el contrato de concesión.

Si transcurrido el plazo de 90 días hábiles desde la recepción del informe positivo de la SENATEL el CONATEL no se hubiese pronunciado sobre la solicitud, este se considerará aprobada.

Una vez otorgado el contrato deberá ser notariado por el concesionario, el cual deberá presentar copia comprobatoria en el lapso de 10 días hábiles contados a partir de la fecha de otorgamiento.

### **6.3.3.- Derechos de Concesión y tarifas.**

Los valores por derechos de concesión estipulados en este reglamento son los siguientes:

Lo derechos de concesión tiene dos componentes, un valor fijo que el concesionario pagará a la SENATEL antes de la fiema del contrato de concesión y un valor variable que el concesionario pagará mensualmente a la SENATEL.

El valor fijo se obtendrá de la siguiente manera:

Para servicios que se concesionan por medio de subasta pública, el valor fijo se obtendrá como consecuencia de la subasta.

Para servicios en libre competencia, el valor fijo se lo establece en US\$ 10,000 por cada año de la concesión.

EL valor variable se fija en el 6 % de la facturación bruta que tenga el concesionario.

Los derechos de concesión fijos y variables se destinarán con un 10 % para el funcionamiento del CONATEL, la SENATEL y la SUPTEL y el 90 % será entregado por la SENATEL al Fondo de Solidaridad.

Las tarifas que cobre el concesionario a sus abonados serán fijadas libremente por los concesionarios siempre y cuando no excedan de las tarifas máximas aprobadas por el CONATEL.

El CONATEL aprobará las tarifas máximas en función de los costos de los servicios, incluida la rentabilidad del capital

Como ya se dijo en este periodo de exclusividad regulada los servicios portadores solo podrán ser explotados por EMETEL S.A. o las compañías resultantes de su escisión, es decir Andinatel y Pacifictel.

Estas son las leyes y reglamentos que se encuentran en vigencia actualmente, los cuales, como podemos observar, no permiten el libre desarrollo de las telecomunicaciones en este país debido a que contemplan que las telecomunicaciones le pertenecen al estado.

### **6.4.- Cambios a la Ley de telecomunicaciones**

En los actuales momentos en nuestro país se está realizando un proyecto de ley que reforma totalmente la ley de telecomunicaciones vigente. Este proyecto contempla un cambio en el contrato de concesión vigente entre el estado y las empresas Andinatel y Pacifictel.

Este contrato se inicio el 29 de diciembre de 1997, y contempla 5 años de exclusividad regulada de los servicios de telefonía local, nacional e internacional, los servicios de portador incluyendo el arrendamiento de líneas y circuitos, alámbricos o inalámbricos, para las compañías Pacifictel y Andinatel, terminando la exclusividad el 29 de diciembre de 2002, este contrato tiene una duración de 15 años.

En estos momentos se ha planteado un dilema en lo que respecta a la culminación de el periodo de exclusividad regulada que poseen las empresas Andinatel y Pacifictel, debido a que en Marzo del 2000 se presento en el congreso – por parte de el ejecutivo- la Ley para la promoción de la inversión ciudadana (Ley Trole 1).

Esta ley contempla las siguientes reformas de la ley especial de telecomunicaciones:

En el articulo 58 de esta nueva ley se sustituye el Capitulo VII de la ley anterior, que se refería a las facultades asignadas a EMETEL, por el siguiente:

#### "Capitulo VII Régimen de libre competencia

Art. 38.- Régimen de libre competencia.- Todos los servicios de telecomunicaciones se brindarán en régimen de libre competencia, evitando los monopolios prácticas restrictivas o de abuso de posición dominante, y la competencia desleal, garantizando la seguridad nacional, y promoviendo la eficiencia, universalidad, accesibilidad, continuidad y la calidad del servicio. El Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, en uso de sus facultades, expedirá en un plazo no mayor de 180 días, contados a partir de la publicación de la presente Ley en el Registro Oficial, el reglamento que se aplicará para otorgar las concesiones de los servicios de telecomunicaciones que se brindarán en régimen de libre competencia, como consecuencia de la aplicación de la presente Ley. Dicho reglamento deberá contener las disposiciones necesarias para la creación de un Fondo para el desarrollo de las telecomunicaciones en las áreas rurales y urbano-marginales, el cual será financiado por las empresas operadoras de telecomunicaciones, con aportes que se determinen en función de sus ingresos. Se reconoce a favor de la I. Municipalidad del cantón Cuenca, provincia del Azuay, la titularidad del servicio público de telecomunicaciones, para operar en conexión con el resto del país y el extranjero, pudiendo prestar servicios en forma directa o a través de concesiones.

En estos momentos existe una decisión política del gobierno de terminar el régimen de exclusividad regulada , basado en el régimen de libre competencia expedido por la ley trole 1 y además por los convenios suscritos por el Ecuador con el OMC (organización mundial de comercio) y con el Acuerdo de Cartagena los cuales obligaban al Ecuador a abrir sus telecomunicaciones el 1 de enero del 2001 así como lo han hecho todos los países de América Latina (a excepción de Bolivia que está en la misma situación que Ecuador).

Pero en esta decisión política debemos tener en cuenta 3 antecedentes legales:

a) Un contrato es ley para ambas partes (Empresas y Estado) y no puede ser modificado unilateralmente por ninguna ley (código civil Art. 1588, 1589).

b) El estado a través del congreso genera las leyes

c) El estado a través del fondo de solidaridad es el dueño de Andinatel y Pacifictel

Con estos antecedentes vemos que a existiría un incumplimiento del contrato suscrito entre estas empresas y el estado, que debería ser terminado por mutuo acuerdo y no únicamente por parte de el estado. Debido a esto se ha generado un reclamo por parte de las empresas Andinatel y Pacifictel. Andinatel ha calculado que la terminación de la exclusividad regulada antes de lo previsto significa una pérdida de alrededor de \$US 200 millones.

Respecto a esto podemos decir que este monto calculado por Andinatel, debería ser objeto de estudio ya que debería quedar claro si representa pérdidas por ingresos ó pérdidas por utilidad, y además si en este monto se ha considerado los ingresos que percibirían por alquiler de redes a empresas que ingresarían al mercado ecuatoriano.

Para compensar estas "pérdidas" estas empresas plantean los siguientes puntos:

- Mantener la exclusividad en telefonía internacional
- PCS (celulares con tecnología digital) gratis.
- Bandas para telefonía inalámbrica gratis.

Estos puntos están en discusión para su aprobación. Por lo que la fecha de culminación del periodo de exclusividad regulada estaría fijada para el 15 de febrero del 2001.

Pero aún así en estos momentos queda mucho por hacer, ya que el CONATEL y la SENATEL deberán terminar los siguientes reglamentos dentro de los siguientes 30 días:

- Reglamento General a la Ley - que refleje la libre competencia en servicios y en redes.
- Reglamento de redes - Públicas, privadas, interconexión, obligatoriedad, Multiplicidad de servicios.
- Reglamento para el proceso de Concesiones.

## Capítulo VII

### COMPARACIÓN TECNICO/ECONOMICA CON OTRAS FORMAS DE TRANSMISIÓN

#### 7.1. - Enlaces Satelitales

Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/ transmisores terrestres, denominados estaciones base. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica o la repite, y posteriormente la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente). Cada uno de los satélites geoestacionarios operará en una serie de bandas de frecuencia llamadas "transponders".

Para que un satélite de comunicaciones funcione eficazmente, generalmente se exige que se mantenga geoestacionario, es decir que mantenga su posición respecto a la tierra. El satélite, para mantenerse geoestacionario, debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra y esto ocurre a una distancia de 35,784 Km.

Un enlace satelital, consta de los siguientes equipos:

##### 7.1.1.- El transmisor

El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida -ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos-, y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexado en frecuencia o en el tiempo -si es que el tráfico así lo dicta-, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar fielmente -o sea, con la mayor aproximación posible- en la estación terrestre receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar.

El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a <<frecuencia intermedia>> es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca a la señal modulada e una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por tanto es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor elevador de frecuencia.

El convertidor elevador transfiere la señal de la frecuencia intermedia -que, dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz,

1GHz o más- a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador; por ejemplo, la señal nueva puede estar concentrada aproximadamente a 6 GHz o 14 GHz. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas (TOP) o TWT y el klistrón.

Un tubo de ondas progresivas es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes o constantes a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas -así estén dirigidas hacia un mismo transpondedor o a transpondedores separados- su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo, el ruido de intermodulación sería muy grande. Para reducir el ruido es necesario operar al amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (back-off).

### 7.1.2.- El receptor

La señal retransmitida por el satélite de comunicaciones es muy aproximada a la que recibe desde la estación terrestre transmisora, con la diferencia de que es colocada en un rango de frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico y, por supuesto, es amplificada. En su trayectoria de regreso hacia la Tierra, la señal viaja un promedio de 36.000 km y, por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y banda de frecuencias con las que ésta funciona, o sea, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz; sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esta información, concentrada quizá en un ancho de banda de tan sólo 5 MHz o aún menos. Es decir, que la estación, después de capturar y amplificar toda esta información, debe separar sólo aquella parte que le corresponda para procesarla. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrestres transmisoras distintos en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones diferentes dentro de los 500 MHz del ancho de banda del paquete de información que el satélite retransmite y, en consecuencia, la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

### 7.1.3.- El amplificador de bajo ruido

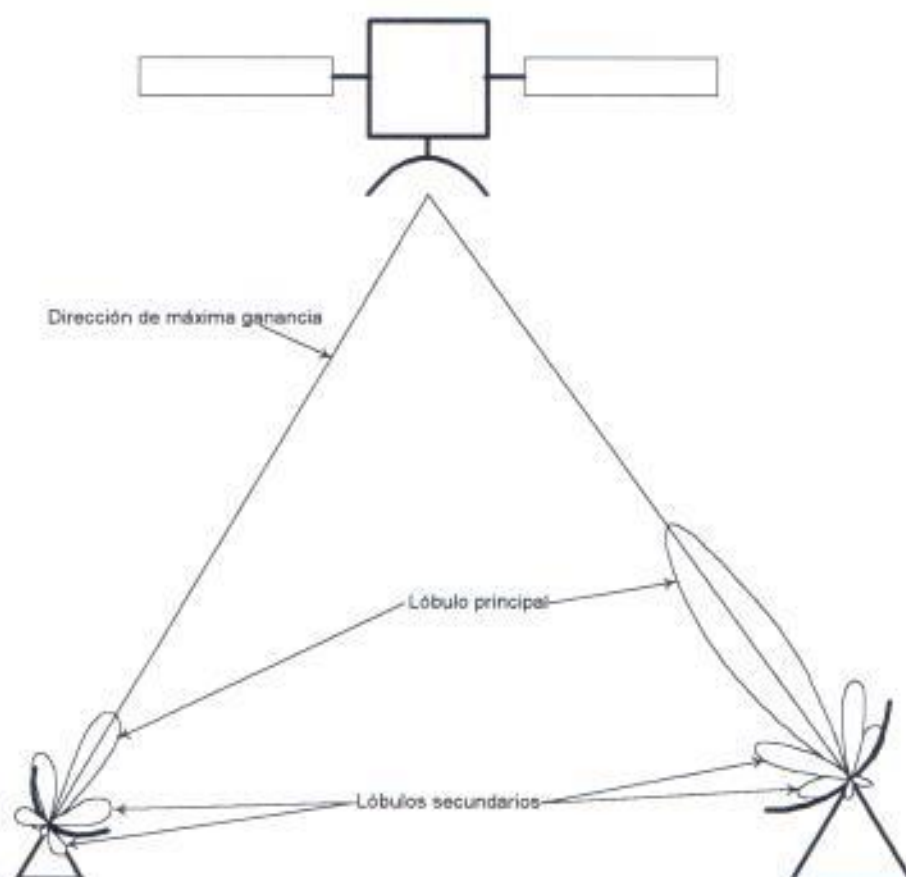
La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del duplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido; éste funciona en forma similar al amplificador de bajo ruido del satélite por las mismas razones de que a su llegada la



señal tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrestre receptora y juntos definen la calidad de su operación (al menos en la primera etapa de recepción).

#### 7.1.4.- La Antena

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibelios e relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (dB) [una antena isotrópica es una antena ficticia que radia simultáneamente con la misma densidad de potencia en todas las direcciones alrededor de ella. Se emplea como referencia y se supone que recibe la misma potencia de alimentación que la antena real]. Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés; de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deban ser lo más pequeños posibles de tal



**Figura 7.1.- Patrón de radiación de la antena parabólica de dos estaciones terrestres, una pequeña y una grande.**

manera que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias.

Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convicción se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación (Fig. 7.1); su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su curvatura, la rigurosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su haz o lóbulo de radiación es más delgado y los lóbulos secundarios se reducen; asimismo, si su diámetro se conserva fijo; el mismo efecto anterior se obtiene mientras mayor sea la frecuencia de operación, pues <<eléctricamente>> hablando, la antena es más grande en términos de longitudes de onda.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas -como si fuera una lente- en un punto común llamado foco (modo de recepción); asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy delgado de radiación (modo de transmisión).

#### **7.1.5.- Estaciones terrenas**

Por lo general las estaciones terrenas son propiedad de las entidades de telecomunicaciones de los países en donde están situadas, las cuales se encargan de su explotación. En la actualidad, INTELSAT autoriza las normas para las estaciones terrenas que prestan servicios a través de sus satélites. También autoriza otros servicios nacionales, marítimos, empresariales y de otros tipos. Dichas normas rigen, en general, el funcionamiento de las antenas, los niveles permisibles de ruido interferente y los parámetros de transmisión relacionados con la explotación de las estaciones terrenas.

Se definen como normalizadas aquellas estaciones terrenas que se ajustan a las características de funcionamiento obligatorias para trabajar en la banda de frecuencias especificada, y cuyo ángulo de elevación con el satélite con el cual trabajan no sea inferior a los siguientes valores:

- a) 5 grados en el caso de las estaciones terrenas que trabajen en las bandas de 6 / 4 GHz; y,
- b) 10 grados en el caso de las estaciones terrenas que trabajen en las bandas de 14 / 11 GHz.

Las estaciones terrenas que no se ciñen a ninguna de estas normas se consideran estaciones terrenas no normalizadas.

## 7.1.6.- Manejo de la información

### 7.1.6.1. - Acceso múltiple por división de frecuencia

Un planteamiento razonable para la asignación de canales, es asignar los canales disponibles a la siguiente estación que solicite o demande servicio, y notificar a la estación de destino qué canal se está utilizando. Entonces, cuando la comunicación termine, el canal entrará de nuevo en el banco de canales disponibles. Este planteamiento se denomina *acceso múltiple por división de frecuencia* (AMDF). El canal de mando puede utilizarse para controlar la asignación de canales, así como para notificar a la estación transmisora qué canal hay disponible y a la estación receptora qué canal se está utilizando. Esta función de control puede gestionarla un ordenador central u ordenador en cada estación terrestre. Esta misma estrategia funcionaría bien si la estación A fuera una estación de emisión. El transmisor -la estación A en este ejemplo- pediría un canal e indicaría que la transmisión iban a recibirla las estaciones B,C y D. El sistema de control asignaría el canal disponible y notificaría a las estaciones B,C y D que recibirían información de la estación A por el canal asignado. Con la posibilidad de emisión múltiple y de estación a estación, el sistema vía satélite tiene todas las características necesarias de cualquier sistema de transmisión de información. Además funciona sin necesitar grandes sistemas de repetidores /retransmisiones terrestres entre los puntos de comunicación.

### 7.1.6.2.- Acceso múltiple por división de tiempo

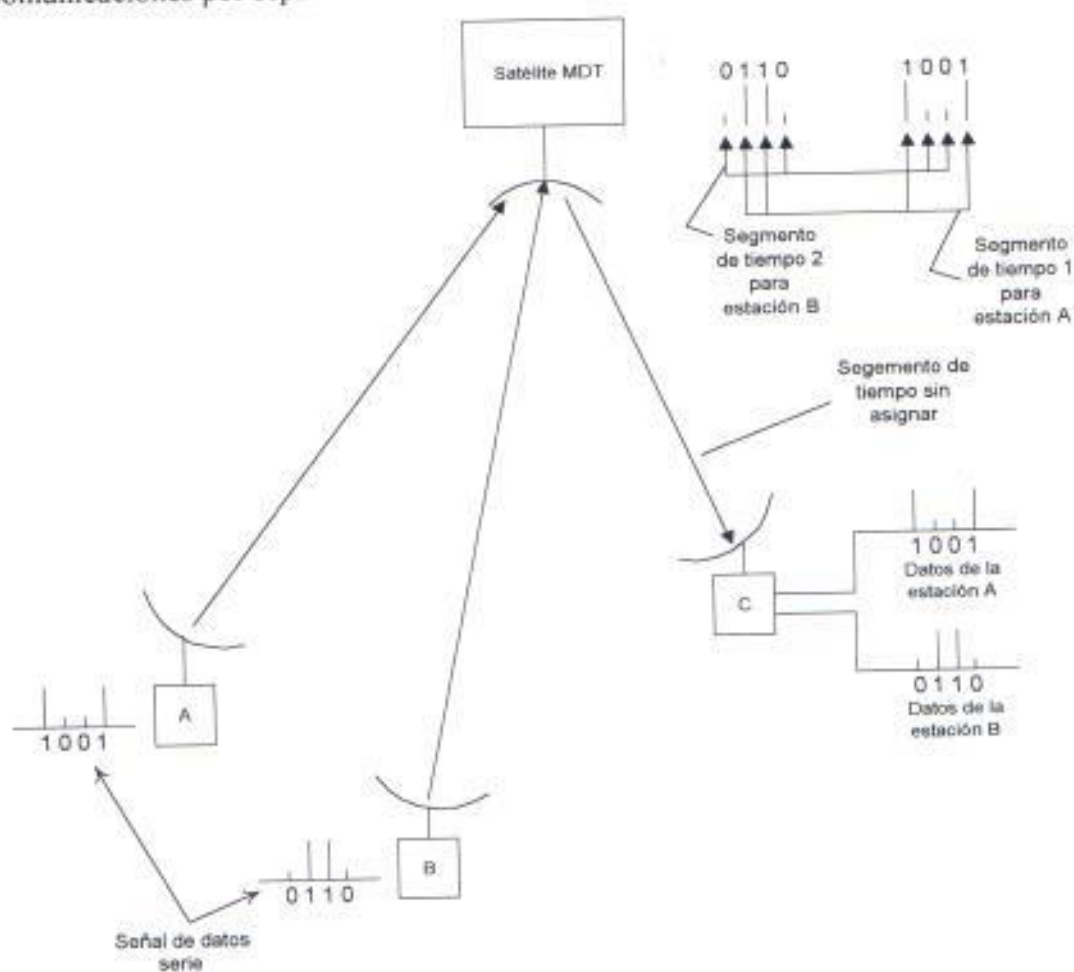
Sin embargo, otra forma de compartir los circuitos de un satélite es mediante MDT. <La mayoría de los primeros satélites tenían MDF y muchos AMDF. A medida que aumentan las comunicaciones digitales, la MTD asume el control.

Para MTD (Fig. 7.2) todas las estaciones utilizan la misma frecuencia de portadora pero su señal se produce en un intervalo de tiempo específico en un segmento de tiempo específico.

Como en un MDF, la asignación de segmento de tiempo podría ser permanente, aunque es más probable que se asigne previa solicitud. Un control central notifica a los miembros de la ruta de transmisión qué segmento de tiempo ha sido asignado, y los receptores examinan la información sólo en esos tiempos especificados. Cuando la transmisión termina, el segmento de tiempo pasa a la lista de segmentos disponibles.

Este método se llama acceso múltiple por división de tiempo (AMDT). El AMDT ofrece algunas ventajas sobre el AMDF en cuanto a que solo se utiliza una única frecuencia para la conexión de una estación, y esta conexión puede hacerse por procedimientos digitales.

En el ejemplo de la Fig. 7.2, se ha asignado a la estación A el primer segmento de tiempo por el que envía el mensaje 1001. A la estación B se le ha asignado el segundo segmento de tiempo, por el que envía el mensaje 0110. Se va a enviar ambos mensajes a la estación C. El sistema de control ha asignado los demás segmentos de tiempo a otras tareas de comunicación, o por microondas hasta su destino. El satélite transmite simultáneamente la información de A hacia B en los segmentos de tiempo correctos en la portadora enviada a estación C. La estación C recibe la señal AMTD combinada, separa los dos mensajes y los trata como comunicaciones por separado.



**Figura 7.2.- Concepto básico de las comunicaciones por satélite MDT**

A los bits individuales de cada uno de las señales de datos se les ha asignado segmentos de tiempo. Es posible asignar un grupo de bits fijo, como un byte de 8 bits o un paquete de 128 bytes, a un cuadro temporal y el multiplexor de tiempo transmite estos cuadros temporales de forma similar. De este modo, la capacidad del satélite aumenta significativamente varias transmisiones comparten la misma frecuencia de portadora y el mismo repetidor.

Cualquiera que sea el planteamiento, la tentativa de utilizar simultáneamente el mismo canal de frecuencias por parte de varios usuarios normalmente complica el

equipo de la estación terrestre. La polarización de la radiación requiere que la estación terrestre esté prevista de ambas polarizaciones en sus amplificadores de potencia y antenas.

Las estaciones terrestres AMTD deben estar capacitadas para sincronizar sus transmisiones digitales con las que van o vuelven del satélite, y después demultiplexar las señales. Las estaciones terrestres de gran capacidad tienen intrincadas redes para almacenar información y distribuirlas por las redes de retransmisión telefónicas.

### **7.1.7.- Comparación con enlace de fibra óptica**

Entre las ventajas que encontramos en un enlace satelital podemos decir que no depende de un medio físico, ya que las señales se transmiten en el aire, lo que permite una instalación más fácil de los equipos a usar por el cliente.

También podemos notar que la cobertura que ofrece un enlace satelital es amplia, por lo que no depende de la ubicación geográfica.

Entre las desventajas que presenta un enlace satelital podemos anotar que al ser conducidos las señales por el aire, entonces la calidad de la señal va a depender de las condiciones atmosféricas y la señal va a ser afectada por la interferencia de otras señales electromagnéticas.

Además un enlace satelital tiene un ancho de banda limitado con relación al ancho de banda de la fibra óptica.

Debido a las grandes distancias involucradas, hay un retardo de propagación aproximado del orden de un cuarto de segundo para la transmisión desde una estación terrestre hasta otra pasando por el satélite. Este retardo es apreciable si se trata de una conversación telefónica ordinaria. Pero además estos retrasos introducen problemas adicionales a la hora de controlar los errores y el flujo de la transmisión.

La criptografía (codificación de la información) debe utilizarse para proporcionar seguridad a cualquiera de los sistemas, de lo contrario, las transmisiones estarán relativamente abiertas a cualquiera que desee acceder. En este sentido, los sistemas de fibra óptica tienen mayor seguridad que otros sistemas.

## **7.2. - Enlaces de Microondas**

### **7.2.1.- Estructura general de un enlace por microondas**

Un sistema en el que se utilizan localmente las microondas. Constará fundamentalmente de un generador y de un medio de transmisión de la onda hasta la carga; en caso contrario, tendremos necesidad de un sistema emisor y otro receptor, estando el emisor compuesto por los elementos anteriormente citados,

donde la carga será una antena emisora, mientras que el receptor será otra antena, medio de transmisión y detector adecuado.

Además de estos elementos existirán otras componentes como pueden ser atenuadores, desfasadores, frecuencímetros, medidores de onda estacionaria, etc.; nosotros nos vamos a circunscribir fundamentalmente a la guía de onda, como elemento fundamental de transmisión a éstas frecuencias.

### 7.2.2.- Equipos

Un enlace está constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico. La distancia entre repetidores se llama vano.

Los repetidores pueden ser:

- Activos
- Pasivos

En los repetidores pasivos o reflectores

- No hay ganancia
- Se limitan a cambiar la dirección del haz radioeléctrico

### 7.2.3.- Diseño de enlaces terrestres por microondas

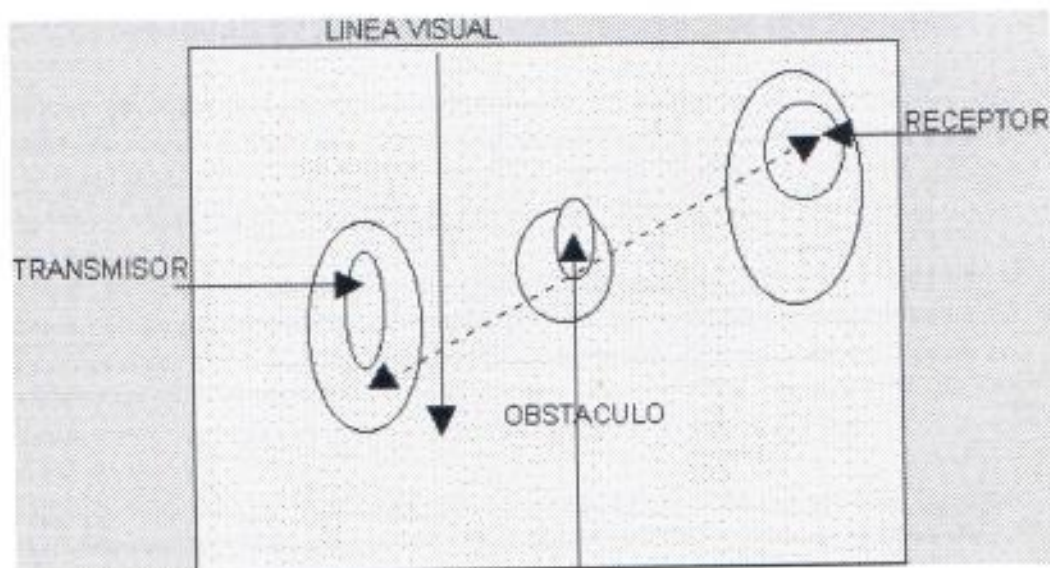
Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles es decir, puntos altos de la topografía.

Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para funcionamiento correcto es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto (figura 7.3).

Antes de hacer mediciones en el terreno puede ser necesario estudiar los planos topográficos de la zona. Por lo general el estudio minucioso de los mapas y de los planos facilita las labores, sobre todo en sistemas extensos con gran número de repetidoras y donde existe una gran variedad de rutas posibles. Por proceso de eliminación y de selección ha de llegarse a la escogencia de la ruta más favorable.

Sobre un mapa de la región en escalas del orden de 1:10000, 1:100000 o 1:200000, se escogen estaciones separadas de 10 a 50 Km



**Figura 7.3.- Línea de vista de un enlace de microondas**

Una vez escogidos los sitios de ubicación propuestos para las torres de las antenas, y habiéndose determinado la elevación del terreno comprendido entre dichos sitios, se prepara un diagrama de perfiles.

En la mayoría de los casos solo es necesario los perfiles de los obstáculos y de sus alrededores, donde pueda obstruirse la línea visual.

Las señales de radiotransmisión en las frecuencias de microondas generalmente se propagan en línea recta en la forma de un haz dirigido de un punto a otro. Sin embargo, el haz puede desviarse o curvarse hacia la tierra por efecto de la refracción de las ondas en la atmósfera.

Puede emplearse un perfil de trayecto dibujado sin mostrar la curvatura de la tierra, y con el haz de microondas en línea recta entre las dos antenas. Dicho perfil representa el caso en el cual la curvatura del haz es igual a la del terreno y el radio de la tierra es infinito. Esta es una de las condiciones extremas que deben investigarse al estudiar el efecto de las condiciones atmosféricas anormales sobre la propagación de las microondas. Sobre el mismo gráfico se dibujan los recorridos del haz para otros posibles valores de  $K$  entre ellos el normal que es  $4/3$ . El trazado de las curvas con diversos valores de  $K$  se hace con plantillas normalizadas. Traza el elipsoide de fresnel para verificar si ocurre obturación.

El único caso peligroso es cuando existe un espejo de aguas mansas como un lago, bahía o río.

### 7.2.4.- Confiabilidad de sistemas de transmisión por microondas

Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, se utiliza un 99.98% de confiabilidad general en un sistema patrón de 6000 Km. de longitud, lo que equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace.

Por enlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema de microondas. El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas. De acuerdo con las recomendaciones, los enlaces, deben tener una longitud media de 50 Km.

Las empresas industriales que emplean sistemas de telecomunicaciones también hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, o sea un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, en los sistemas de microondas de largo alcance.

### 7.2.5.- Ventajas y desventajas de los enlaces de microondas comparados con los sistemas de fibra óptica

#### Ventajas

- Volumen de inversión generalmente mas reducido.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Puede superarse las irregularidades del terreno.
- La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

#### Desventajas

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces.
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable
- Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerida, supone un importante problema en diseño.
- Además un enlace de microondas tiene un ancho de banda limitado con relación al ancho de banda de la fibra óptica.

### 7.3. - Radioenlaces.

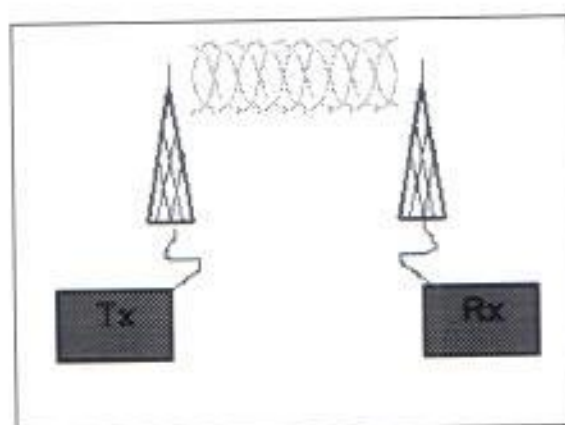
Un medio de transmisión al que estamos habituados es el radioenlace, por cierto que es uno de los medios mas empleados en las formas de interconexión de redes más



modernas, las redes inalámbricas que emplean parte del espectro para mover información entre los equipos.

### 7.3.1.- Introducción

Por definición, la radiocomunicación es la técnica que permite el intercambio de información entre dos puntos geográficos distantes mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas, como se ilustra en la figura 7.4. Estas tienen una velocidad de propagación muy cercana a la velocidad de la luz, es decir 300000km/seg, lo que representa una velocidad por demás aceptable. En todo sistema de transmisión por radio, debe existir un transmisor y una antena asociada al mismo. El transmisor emite entre su potencia de salida a la antena, la que genera una señal hacia el exterior. El proceso contrario se da cuando una antena receptora captura las señales y las deriva a un equipo capaz de extraer la información contenida en la misma. Entre ambas antenas se propagan las señales electromagnéticas.



**Figura 7.4 .- Radiocomunicación**

La diferencia más palpable entre las microondas y las ondas de radio es que estas últimas son omnidireccionales mientras que las microondas tienen un diagrama de radiación mucho más direccional. Por tanto, las ondas de radio no necesitan antenas parabólicas.

### 7.3.2.-Espectro de radiofrecuencias

El espectro de radiofrecuencias hace referencia a cómo está dividido todo el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales. La relación completa se muestra en la tabla 7.1

Existe una reglamentación que asigna determinadas frecuencias a determinados tipos de transmisión de información.

BANDA DE FRECUENCIA	DESIGNACIÓN	LONGITUD DE ONDA	USO EN COMUNICACIONES
300KHz → 3MHz	<b>MF</b> (Middle Frequency)	1Km → 100m	Radiodifusión AM
3MHz → 30MHz	<b>HF</b> (High Frequency)	100m → 10m	Onda Corta (radioaficionados)
30MHz → 300MHz	<b>VHF</b> (Very High Frequency)	10m → 1m	TV, Radio FM, Radiollamadas
300MHz → 3GHz	<b>UHF</b> (Ultra High Frequency)	1m → 10cm	Microondas, TV
3GHz → 30 GHz	<b>SHF</b> (Super High Frequency)	10cm → 1cm	Microondas, Satélite

**Tabla 7.1 .- Relación de bandas y designación de las mismas**

### 7.3.3.- Naturaleza de las ondas de radio

El proceso de transmisión es el siguiente: Se aplica una potencia de radiofrecuencia a una antena (una potencia eléctrica modulada). Los electrones contenidos en el metal de la antena, comienzan a oscilar instantáneamente. El movimiento de estos electrones genera una corriente eléctrica que se manifiesta de dos formas sobre la antena. Mediante un campo magnético concéntrico al conductor de la antena, con líneas de fuerza concéntricas al conductor, y un campo electrostático cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a las líneas de fuerza del anterior campo, es decir centrífugas. La fuerza o potencia eléctrica que se aplica a la antena tiene una forma senoidal, forma que fielmente reproducen tanto las ondas magnéticas como las electrostáticas. La longitud de onda está directamente relacionada al tamaño de la antena, aspecto que debe ser considerado al momento de instalar la misma. La figura 7.5 ilustra lo dicho.

### 7.3.4.- Propagación de las ondas de radio

Las ondas de radio tienen tres formas de propagarse. La primera es la denominada propagación por onda terrestre, la segunda es la propagación por línea recta o alcance visual, y la tercera es la propagación por onda espacial

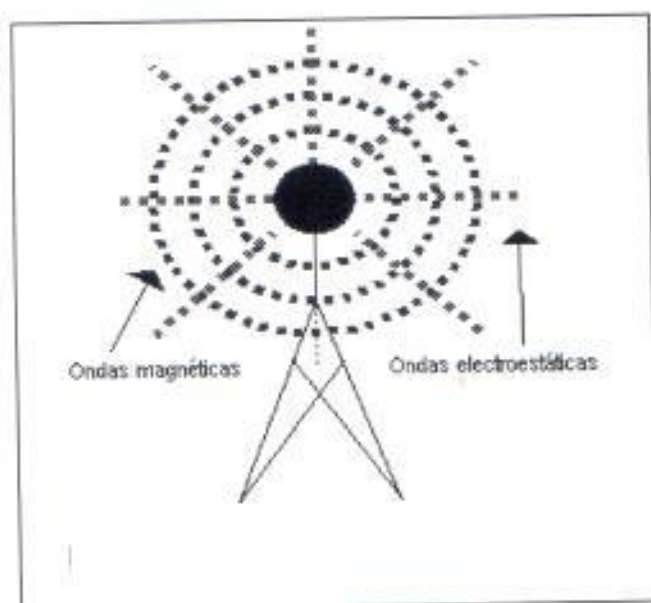


Figura 7.5.- Propagación de las ondas de radio

### 7.3.5.- Propagación por onda terrestre

En este tipo de propagación, las ondas mantienen un contacto constante con la superficie de la tierra, desde la antena transmisora a la receptora. Este fenómeno suscita la aparición de corrientes eléctricas al nivel de la tierra que llegan a interferir la onda original, introduciéndose a la misma en la forma de ruido.

Adicionalmente, la onda se va debilitando hasta prácticamente desaparecer del alcance de cualquier radioreceptor.

### 7.3.6.- Propagación en línea recta o alcance visual

Este tipo de propagación se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora, viaja en forma directa hacia la antena receptora, sin tocar la superficie del terreno. Este tipo de transmisión es empleado particularmente para las frecuencias más altas como VHF y UHF. Típicamente los servicios de TV y FM emplean este tipo de transmisión.

Bajo esta modalidad de propagación, la altura de las antenas es fundamental para lograr una comunicación eficaz entre ambas antenas. Se deben entender dos términos relacionados a este tipo de comunicación: distancia al horizonte y distancia de alcance visual.

### 7.3.7.- Distancia al horizonte

Es la distancia que se cubre de forma lineal recta desde la antena transmisora hasta rozar tangencialmente la superficie de la tierra. De esta forma, y entre dos antenas existe dos distancias al horizonte. La figura 7.6 muestra el detalle.

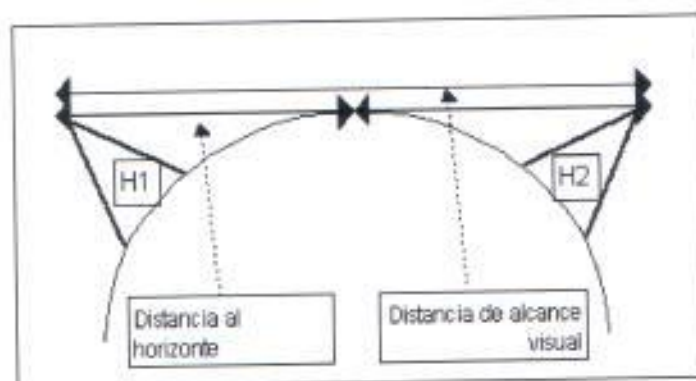


Figura 7.6.- Distancia al horizonte

### 7.3.8.- Distancia de alcance visual

Es la distancia máxima a la que pueden instalarse dos antenas de alturas determinadas en puntos geográficos distantes. Entre las dos antenas existe una sola distancia de alcance visual.

Si consideramos como  $H$  a la altura de cualquiera de las antenas en metros, es posible obtener la distancia al horizonte como  $D$  en kilómetros:  $D = 3.61H$ . Sin embargo se ha demostrado que las ondas cercanas a la tierra sufren una inclinación a la misma que permite lograr una distancia de alcance visual mayor, quedando una fórmula como sigue:  $D = 4.14H$ . La figura 7.7 muestra el esquema.

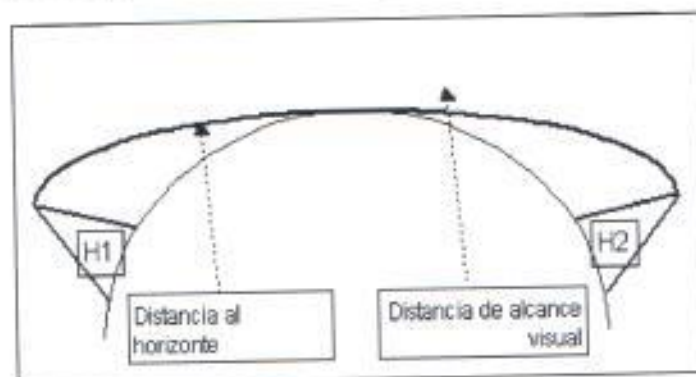


Figura 7.7.- Curvamiento de ondas de Radio

### 7.3.9.- Propagación por onda espacial

La mayoría de las ondas que están dentro de la frecuencia de 3 a 30MHz se realizan mediante onda espacial, excepto las de radioaficionados. Este tipo de onda es lanzada por la antena transmisora hacia la ionosfera, y rebota retornando a la tierra. Lamentablemente este tipo de comunicaciones es delicada ya que dependen del estado climatológico, como del estado mismo de esta, susceptible a la radiación ultravioleta del sol, impurezas, etc. La ionosfera está formada por ondas electromagnéticas provenientes del mismo sol, y está formada por: la región D (59

Km.), la capa E (100Km. desde la tierra), la capa F1 (200Km. desde la tierra), y la capa F2 (340Km. desde la tierra).

Como con todo fenómeno de refracción es conveniente tener la precaución de lograr el ángulo de incidencia adecuado a fin de que las ondas "reboten" hacia otra posición de la superficie de la tierra.

### 7.3.10.- Comparación con transmisión por fibra óptica

Una de las desventajas que presentan los sistemas por radioenlaces son la interferencias por multitrayectorias. Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar u otros objetos, pueden aparecer multitrayectorias. Esto sumado a la poca capacidad de transmisión de un radioenlace

Una gran ventaja frente a los enlaces de fibra óptica es la fácil instalación de los equipos y también la movilidad de estos.

### 7.4.- Comparación Económica.

La tabla 7.2 que se muestra a continuación, nos presenta los precios que en la actualidad tienen los servicios portadores, en los diferentes medios de transmisión ya analizados.

Capacidad	Satélite	Microondas
64Kbps	US\$ 3000	US\$ 1020
128Kbps	US\$ 5000	US\$ 1540

**Tabla 7.2.- Comparación de costos de servicios portadores**

Los precios de los servicios por Fibra óptica deberían estar en capacidad de competir con los precios mostrados en la tabla 7.2 ya que debe tomarse en cuenta costos de inversión, instalación, mantenimiento y además algo tan importante como la calidad de los servicios que se brindarían.

No se incluyen los servicios de radioenlace debido a que no es un medio de transmisión apto para la clase de servicios que brindará la futura red de banda ancha por lo tanto no se puede comparar económicamente.

## Conclusiones y Recomendaciones.

Como conclusión podemos anotar que nuestra red contribuirá al desarrollo de nuestro país, ya que ayudará a las empresas a expandir sus operaciones en toda la región y porque ofrecemos una alternativa efectiva, rápida y segura para la transferencia de datos en este país.

Además las universidades de nuestro país con nuestra red tendrían la oportunidad de trabajar conjuntamente con otras en tiempo real, es decir, se promovería la investigación conjunta, la tele educación a través de aulas virtuales, postgrados conjuntos, etc. y además no vamos a tener ninguna clase de problemas con las condiciones atmosféricas y con cualquier tipo de interferencia ya que nuestra red es inmune a estos problemas que son típicos en otros tipos de sistemas.

Con este proyecto realizado nos pudimos dar cuenta que nuestro país es un buen mercado para la explotación de las telecomunicaciones ya que 25 ciudades fueron seleccionadas para brindarle nuestros servicios de banda ancha.

Con respecto a la arquitectura de protocolos a utilizar, podemos mencionar que es la más apta para nuestra red, debido a que satisfacen todos los requerimientos de transporte de datos.

Para la asignación de capacidades en los diferentes anillos de la red hemos realizado un estudio de las necesidades de transmisión de datos de las diferentes empresas en los denominados mercados y los hemos traducido en canales de 64 Kbps lo que nos permitió asignar las capacidades adecuadas y también dejar una capacidad reservada, para proveer el crecimiento que sin duda se tendrá con el pasar del tiempo.

Los equipos seleccionados para nuestra red se basó fundamentalmente en la familiaridad que se tiene con estos en nuestro medio ya que algunas empresas lo están trabajando con esta familia de equipos (newbridge).

La elección de la ruta por donde pasará el cable de fibra óptica fue realizada minuciosamente lo que permitirá una instalación segura y libre de cualquier tipo de perturbación externa que pueda afectar el cable.

Un punto muy importante en nuestro proyecto es el estudio de las leyes, ya que estas están cambiando por lo que se podría obtener una concesión para prestar nuestros servicios sin ningún problema y en un régimen de libre competencia.

En el aspecto económico hemos hecho este estudio considerando economizar al máximo, pero no olvidándonos de la calidad de servicio que es una de las principales características de nuestra red.

En base a todo lo expuesto concluimos que nuestro proyecto presentado es definitivamente un proyecto viable y nos permite unirnos al gran desarrollo de las telecomunicaciones del cual la mayoría de los países del mundo ya están siendo partícipes, y obtendremos beneficios enormes para nuestro país.

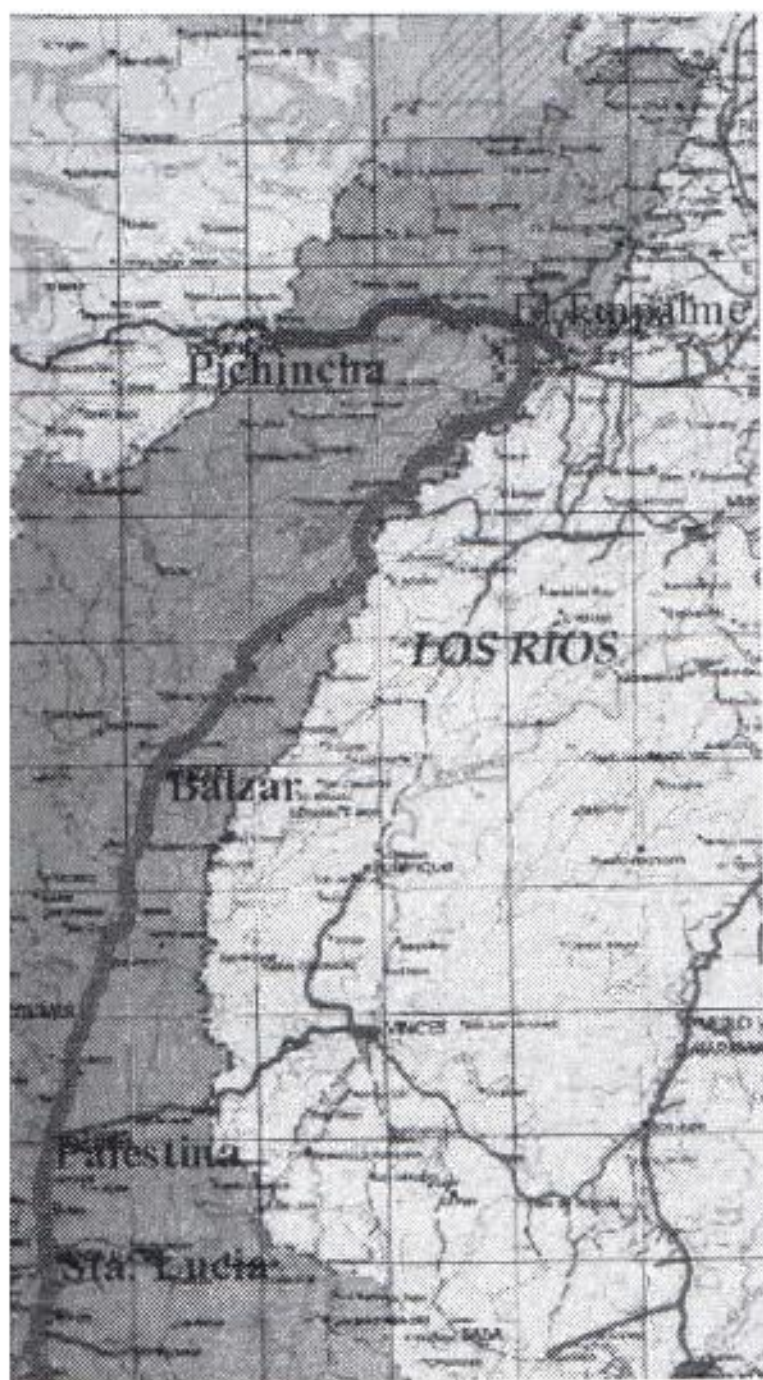
## Bibliografía

- Data and Computer Communications  
William Stallings  
4ta Edición
- Leyes de Correo y Telecomunicaciones  
Tomo II  
Edición : 1999
- Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes  
Edición 1993  
Ministerio de Obras públicas
- Directorio de Negocios y servicios del Ecuador  
Edición 2000  
EDINA
- Las 1000 empresas más importantes del Ecuador  
Edición 1998  
Superintendencia de Compañías



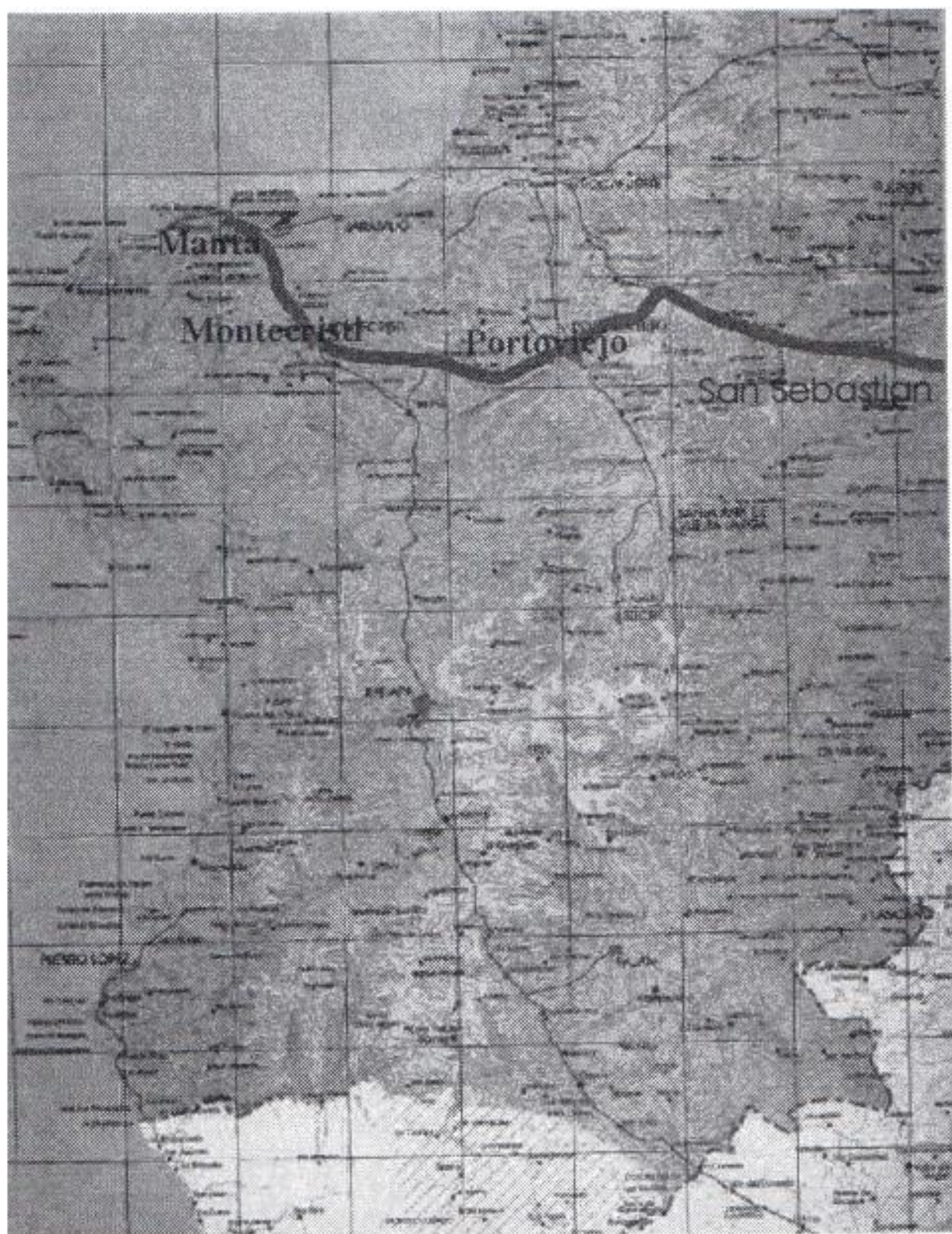
# Apéndice A

**Ruta de Fibra óptica en carreteras**



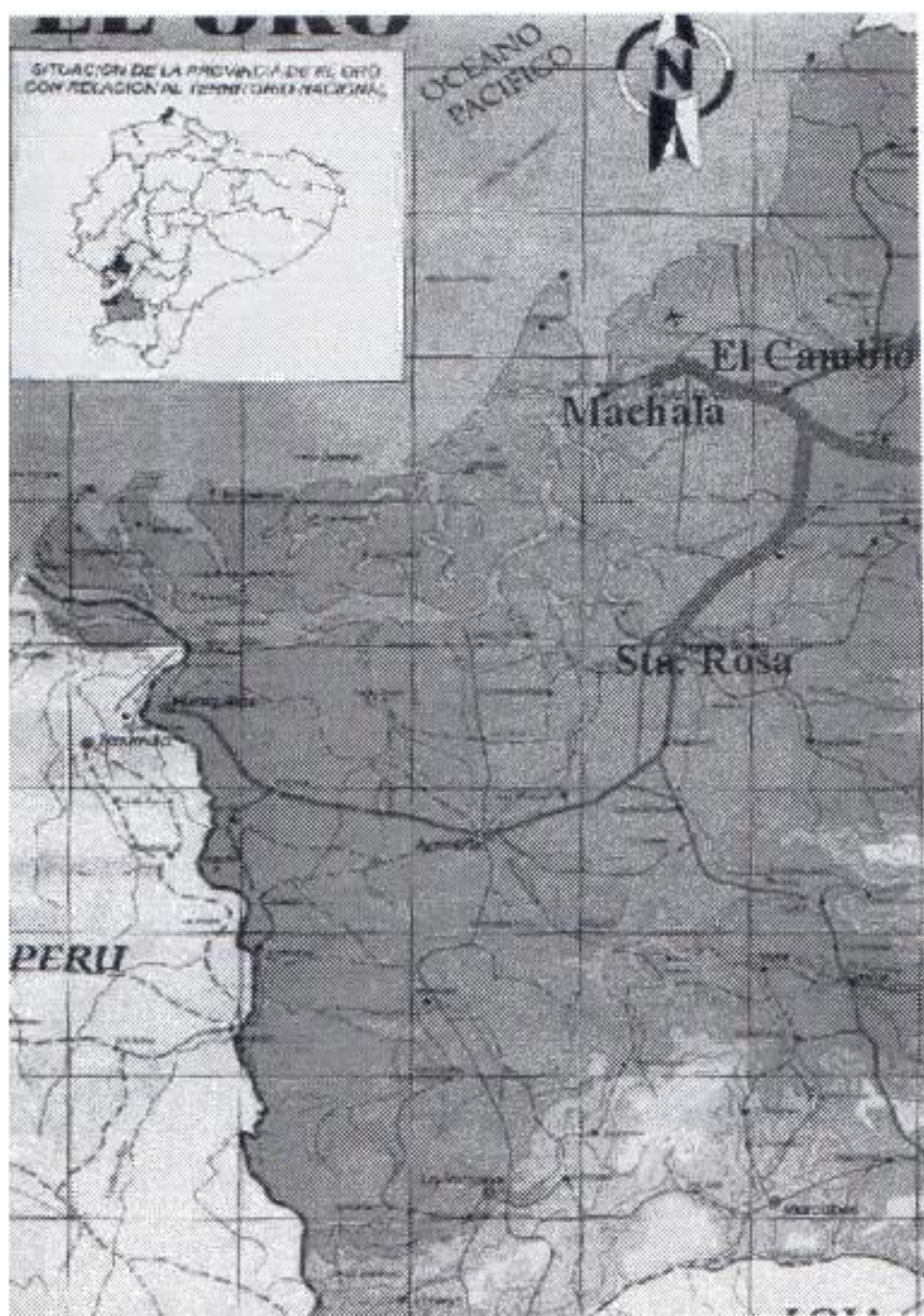














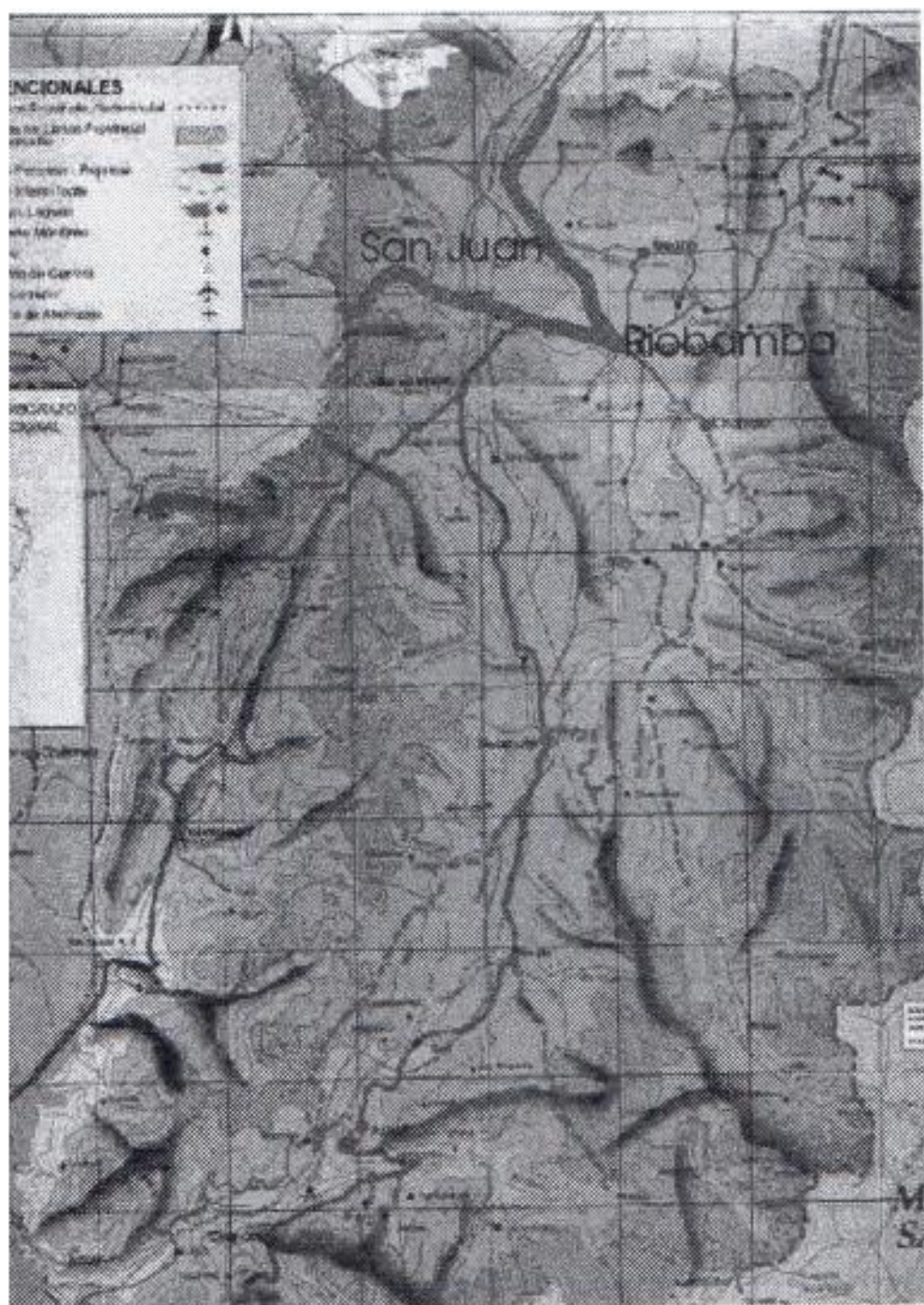


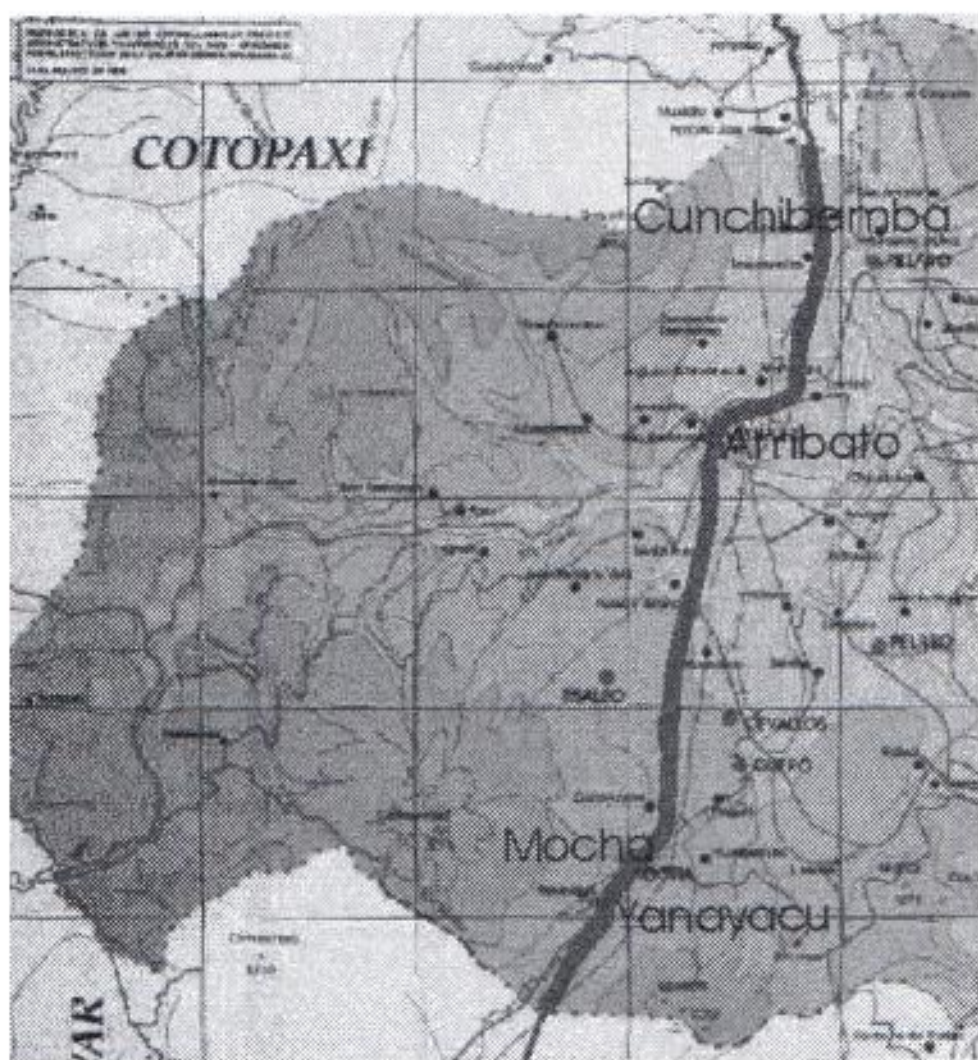












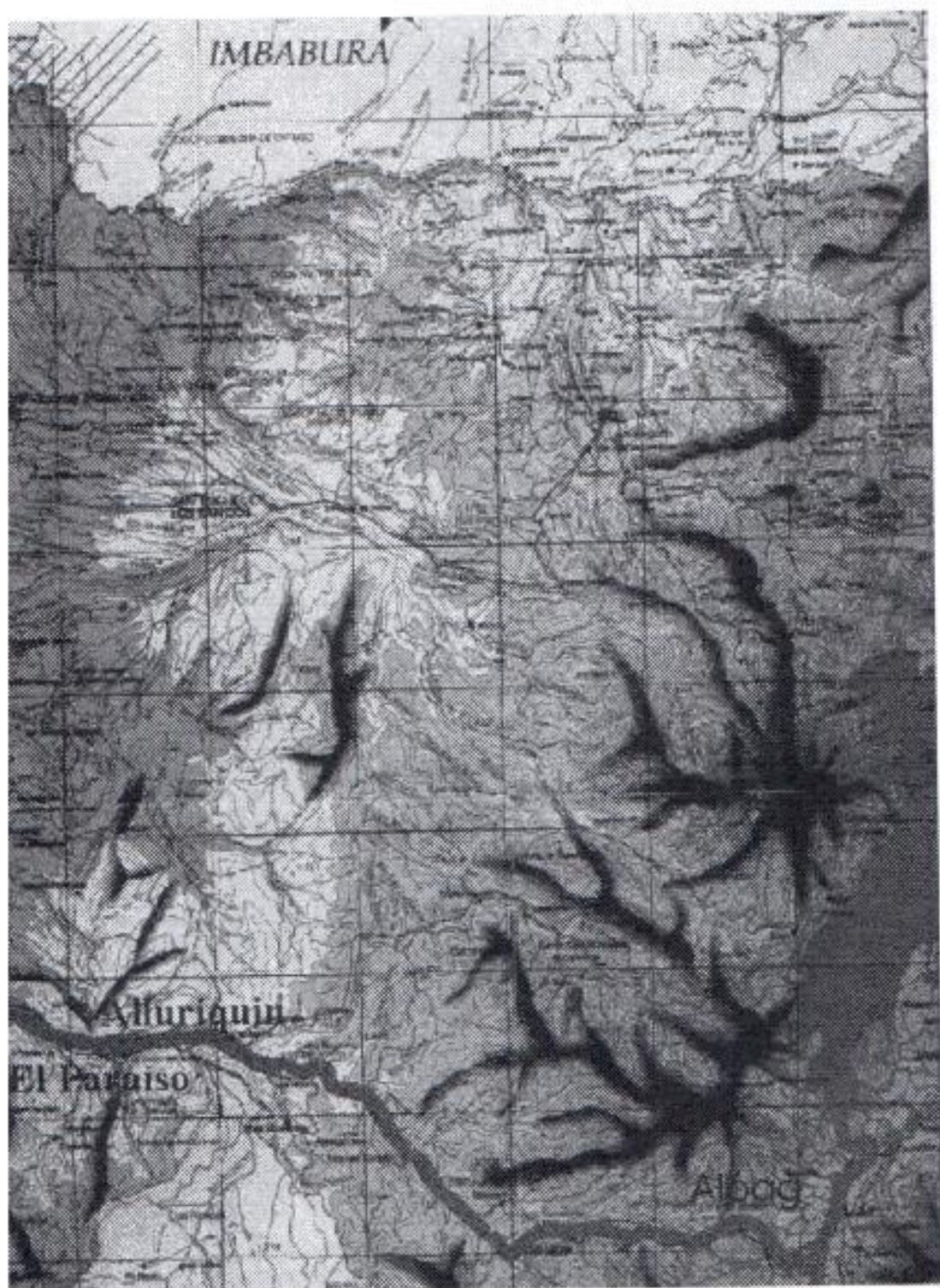


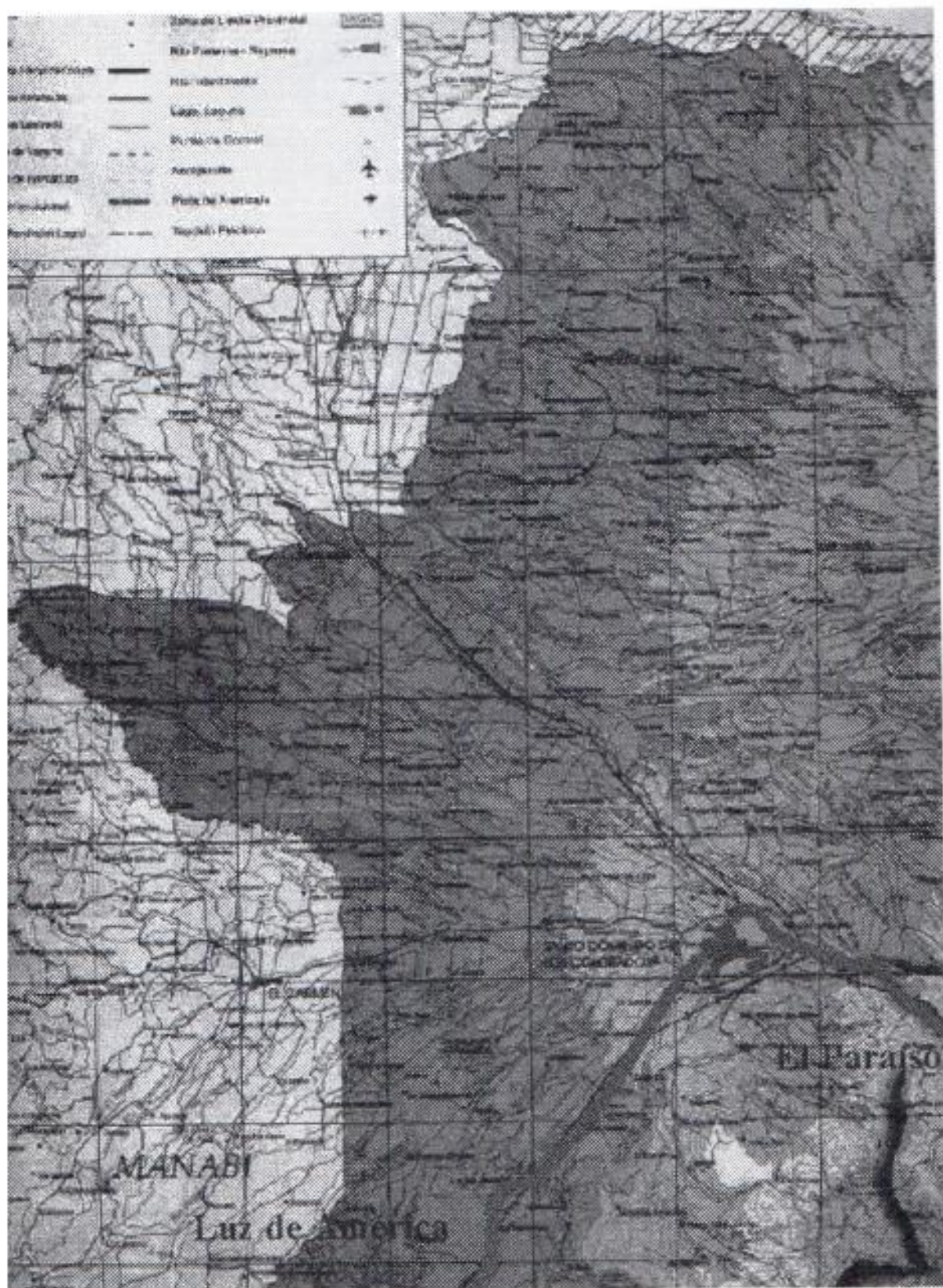














# Apéndice B

Modelo de solicitud al MOP

Guayaquil 15 de noviembre de 2000

Sr. Director General de Obras Publicas.  
Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.

En su despacho.

Nosotros como "SOLTEL" solicitamos se nos conceda permiso de ocupación y uso de la franja subyacente, dentro del derecho de vía, de los caminos de primero y segundo orden para realizar instalaciones y colocar ductos a una profundidad de un metro cincuenta centímetros de la superficie de la vía, con un diámetro no mayor de treinta centímetros, en conformidad con todas las normas vigentes en la actualidad, que constan en el registro oficial N. 118, publicado el día miércoles 12 de julio del 2000.

Adjuntamos a esta solicitud los planos de instalación de los ductos y la respectiva documentación de soporte técnico tales como el cronograma de trabajos, y las especificaciones técnicas.

Esperando un pronunciamiento favorable a esta petición quedamos de usted suscritos.



## INFORME TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL DUCTO DE LA FIBRA ÓPTICA

Para la instalación del ducto de la fibra óptica por las carreteras que unen las ciudades del país, hemos decidido ubicar el ducto que llevará la fibra óptica a una distancia de 20 a 25 metros a partir del eje de la carretera, variando este parámetro según la condición que presente cada tramo de la carretera para así no ocasionar cualquier tipo de problemas por ampliación de carreteras u otro motivo, en los puntos donde no se pueda realizar esto por falta de terreno pues el ducto irá en los denominados espaldones de la carretera.

Los ductos irán a una profundidad de un metro cincuenta centímetros de la superficie de la vía, con un diámetro no mayor de treinta centímetros. Cuando por motivos geográficos se tenga que atravesar la carretera, se habilitará un camino alternativo para la circulación normal del tráfico y se procederá a realizar los trabajos correspondientes lo más rápido posible.

Las capas de relleno que se utilicen para los ductos y para la reconstrucción del pavimento se elaborarán conforme a las especificaciones técnicas publicadas en el manual de especificaciones técnicas del MOP: MOP-001F-1993.

En el caso de puentes, tendremos 2 consideraciones:

Primero, vamos a instalar fibra óptica aérea en puentes considerados de riesgo como por ejemplo puentes que tengan desbordamiento de ríos e inundaciones, en los cuales se realizará la ubicación de postes de 10 metros de altura, 20 metros antes de llegar al puente y 20 metros después del puente.

Segundo, puentes que no presenten inconvenientes se instalará la fibra en canaletas ubicadas en los bordes inferiores de dichos puentes.

## Especificaciones Técnicas.

303-1.01.- Estos trabajos consistirán en excavación, transporte, desecho, colocación, manipuleo, humedecimiento y compactación del material necesario a remover en zonas de corte y a colocar en zonas de relleno para lograr la construcción de la obra básica, estructuras de drenaje y todo trabajo de movimiento de tierra que sea requerido en la construcción de acuerdo con los documentos contractuales y las instrucciones del fiscalizador.

303-1.02.- Ensayos y tolerancia.- Para el control de la compactación de suelo de la cimentación a nivel de la subrasante y mas a bajo en corte, y cada capa de suelo que se utilice en relleno o en la construcción de terraplenes, el fiscalizador determinará para cada suelo distinto, con excepción de las zonas de alta pluviosidad en la región oriental del país y del material pedregoso que a juicio del fiscalizador no es susceptible a ensayos de humedad- densidad, la densidad máxima de laboratorio de acuerdo al método de ensayo AASHO T-180, método D, con la modificación permitida en cuanto al reemplazo de material retenido en el tamiz de 19 mm., por material mantenido en el número 4 (4.75 mm.).

Los ensayos de granulometría, límites "ATERPERG", valor soporte(CBR) y cualquier otra que fuese especificado en las disposiciones especiales, se efectuará de acuerdo a los procedimientos pertinentes establecidos en las normas INEN y a su falta en las normas AASHTO, excepto cuando en casos especiales se estipula otro método en los documentos contractuales.

El control de la densidad en la obra será llevado a cabo por el fiscalizador, de acuerdo a los siguientes métodos:

- a) método del cono y arena, según ASSHO 191-61;
- b) método volumétrico, según AASHO 206-64; ó
- c) método nuclear debidamente calibrado.

La ubicación de los pozos de prueba será determinada por el fiscalizador normalmente, se efectuará los ensayos de compactación de acuerdo al siguiente criterio general:

- a) cada 500 m<sup>3</sup> de relleno por terraplén colocado, o cada 100 m lineales como promedio en cada capa colocada con excepción de la de subrasante y,
- b) un promedio de cada 100 m lineales para la capa de subrasante en terraplenes y rellenos y cada 100 m lineales para la subrasante en corte y para los suelos de cimentación por debajo de terraplenes cuya altura sea menor a 2 metros

303-1.03.- Preservación de la propiedad ajena.- En los trabajos de excavación y relleno, el contratista deberá tomar todas las precauciones necesarias para proteger y evitar daños o perjuicios en las propiedades colindantes con los límites de la obra, así para que no se interrumpan las servidumbres de tránsito, riego, servicios públicos, etc.... Para proteger instalaciones adyacentes, el contratista tendrá que

construir y mantener por el tiempo necesario, por su cuenta y costo, tabla- estacada, apuntalamientos u otros dispositivos apropiados. El retiro de estos también correrá por cuenta de el contratista cuando no se lo requiera mas.

En todo caso, deberá sujetarse a lo previsto en el numeral 102-3.11 de estas especificaciones, "Protección y restauración de propiedades"

102-3.11.- Protección y restauración de propiedades.- Será responsabilidad del contratista preservar las propiedades públicas ó particulares situadas fuera de los límites de la construcción y proteger de daños a los bienes públicos y particulares , de cualquier naturaleza , que se encuentran con derecho dentro o en las cercanías de la obra.

El contratista deberá responder durante la ejecución de la obra, hasta su recepción definitiva , por cualquier daño o perjuicio que sufran las mencionadas propiedades como consecuencia de sus actos, omisiones, negligencias, trabajos defectuosos, desacierto en la dirección de la obra o empleo de materiales no aceptables.

El contratista deberá efectuar la obra de tal modo que reduzca al mínimo posible la erosión de los suelos como consecuencia del movimiento de tierra. Deberá tener cuidado especial e los lugares donde la sedimentación provenientes de la erosión podría afectar en forma adversa a los rios, canales o embalses . Si fuera considerado necesario por el fiscalizador, el contratista deberá construir diques, desagües u otras obras provisionales para el control de la erosión y mantenerlos hasta que fueran terminadas las obras programadas.

Si como resultado de la acción y omisión del contratista se produjera cualquier daño o perjuicio a la propiedad ajena, el deberá restaurar dicha propiedad a la condición anterior de ocurrido el daño o perjuicio, por su propia cuenta y a satisfacción del fiscalizador.

### **Tipos de excavaciones**

303-2.01.1.- Excavación sin clasificación .- es la excavación y desalojo que se realiza de todos los materiales que se encuentran durante el trabajo, en cualquier tipo de terreno y en cualquier condición de trabajo, es decir, inclusive excavaciones en fango, suelo , marginal y roca .

303-2.01.2.- Excavación clasificada.- Es la excavación y desalojo que se realiza de todos las materiales que se encuentran durante el trabajo y comprenderá las siguientes clases cuando se estipule en los contratos respectivos:

303-2.01.2.1.- Excavación en roca.- Comprenderá la correspondiente a todas las masas de roca, depósitos estratificados y la de todos aquellos materiales que presenten características de roca maciza, cementados tan solidamente , que únicamente puedan ser excavadas utilizando explosivos.

El contratista previamente a la iniciación de los trabajos considerados como excavación en roca, deberá notificar por escrito al fiscalizador, y este previa su

constatación física en la obra autorizará al contratista por escrito la ejecución de dicho trabajo.

303-2.01.2.2.- Excavación marginal.- Comprenderá la correspondiente a los materiales formados por rocas descompuestas, suelos muy compactos , y todos aquellos que para su excavación no sea necesario el empleo de explosivos y sea preciso la utilización de maquinaria mayor a 320 HP al volante con sus respectivos escarificadores.

El contratista previamente a la iniciación de su trabajos considerados como excavación marginal notificará por escrito al fiscalizador, y este previa su constatación física en la obra de que dicho material no es susceptible al desgarramiento con maquinaria de 320 HP al volante y con el empleo de sus respectivos desgarradores , pesados y profundos, autorizará por escrito la ejecución de los trabajos solicitados.

303-2.01.2.3.- Excavación en fango.- Es la excavación y desalojo que se realiza de material descompuestos de tierra y/o materia orgánica, y que por el contenido de humedad las características y estados son tales que se los define como suelos tixotrópicos.

303-2.01.2.4.- Excavación en suelo.- Comprenderá la remoción de todos los materiales no incluidos en los numerales 303-2.01.2.1 y 303-2.01.2.2 .

303-2.02.5.- Desprendimientos y deslizamientos.- La remoción y desalojo de materiales provenientes de desprendimientos y deslizamientos dentro de la obra deberán realizarse empleando el equipo personal y procedimientos aprobados previamente por el fiscalizador y de tal manera que evite en lo posible cualquier daño a la plataforma o calzada.

La disposición de materiales que el fiscalizador considere no aprovechable para la construcción de terraplenes o rellenos se efectuará en los sitios indicados por el fiscalizador de tal manera que no altere el paisaje ni obstaculice los ríos ni arroyos.

### **Compactación**

305-2.01.- Descripción.- Este trabajo consistirá en la operación mecánica controlada para comprimir los suelos o materiales por reducción de espacios vacíos, mediante el empleo de equipo apropiado para la compactación del terreno natural original terraplenes, rellenos y las varias capas de pavimento de acuerdo a las presentes especificaciones.

305-2.02.- Equipo.- El equipo de compactación deberá ser constituido por rodillo pata de cabra, rodillos lisos en tandem de dos o tres ejes , o de tres ruedas y rodillos neumáticos. Las unidades podrán ejercer presión estática o vibratoria, deberán tener marcha atrás y deberán ser autopropulsadas. La velocidad de operación de los rodillos deberá ser la que produzca resultados aceptables al fiscalizador; pero, en ningún caso, excederá de 10 Km/H .

No se permitirá el empleo de tractores para trabajos de compactación. Cuando el material a ser compactado sea piedra o pedazos de roca podrán utilizarse camiones cargados cuyo peso total sea por lo menos 34 Toneladas, con la autorización del fiscalizador

305-2.02.1.- Rodillos pata de cabra .- Este equipo de compactación consiste en cilindros de acero con patas salientes que aplican alta presión sobre un área pequeña . La presión que ejercen depende de el número y diámetro de las patas y el peso del rodillo, el cual podrá variarse modificando la cantidad de agua u otros lastres en el cilindro.

Los cilindros tendrán un diámetro no menor a 1.5m y una longitud no inferior a 1.40m medidos en la superficie. La longitud de las patas no deberá ser menor a 18cm. Y el área de la cara de cada pata será entre 34 y 51  $\text{cm}^2$  .

El peso sin lastre de este tipo de rodillo deberá ser el suficiente para ejercer una presión de 15 a 55  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  . en la zona de contacto del suelo con las patas de cabra, y el rodillo deberá ser diseñado para que con lastre ejerza una presión de 30 a 120  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  de acuerdo al tamaño de la unidad

305-2.02.2.- Rodillos lisos.- Este equipo de compactación consiste en rodillos de cilindro o ruedas lisas de acero, que podrian ser del tipo de 3 ruedas , o tandem de 2 ejes o a tandem de 3 ejes; la presión que ejercen depende del ancho de cilindro o rueda y el peso del rodillo, el cual podrá variarse modificando el contenido de agua u otro lastre en los cilindros.

El peso neto de los rodillos lisos de 3 ruedas y los tandem de 3 ejes, podrá variar de 10 a 14 Toneladas; igualmente , en los tandem de dos ejes, el peso neto podrá ser entre 6 o 10 toneladas, según la clase de trabajo que se le asigne.

305-2.02.3.- Rodillos neumáticos.- Este equipo de compactación consiste en un par de ejes paralelos, cada uno equipado con ruedas de llantas neumáticas de igual tamaño y tipo. La longitud de separación lateral entre llantas no podrá ser superior a 13 cm. Y la disposición de las ruedas en el eje posterior será en forma alternada con relación a las del eje delantero.

Las compactadoras neumáticas podrán disponer de ejes desplazables lateralmente, para permitir que las llantas se mantengan en línea, produciendo doble compactación la primera pasada y, al desplazarse el eje, completar la operación con traslapeo en las pasadas sucesivas. En otros modelos se permite el movimiento vertical de las ruedas, lo que facilita la compactación en ciertas circunstancias.

La construcción de estos rodillos deberá ser tal que la presión de contacto se distribuya uniformemente sobre todas las llantas, y la presión de contacto pueda ser valida, par satisfacer las exigencias de un trabajo particular, mediante la colocación de lastre o por cambio de presión del inflado de las llantas.

305-2.03.- Procedimiento de trabajo.- En las operaciones de compactación se utilizará el tipo de rodillo mas adecuado para el material que se va a compactar, de acuerdo en lo estipulado en estas especificaciones y en las disposiciones especiales, y conforme determine el fiscalizador. Se efectuará el número de pasadas y el manipuleo del material requerido para lograr en toda la capa que está siendo compactada, por lo menor el grado mínimo de compactación especificado.

Con el permiso escrito del fiscalizador, el contratista podrá emplear otro equipo de compactación que no sea el indicado anteriormente, siempre y cuando produzca una compactación adecuada a juicio del fiscalizador.

Para la compactación de materiales en los cuales el fiscalizador juzgue que no es factible practicar los ensayos de densidad especificado en el numeral 303-1.02 (como regla general ; podrán considerarse como tales materiales a aquellos que contengan mas de 50% de piedra con el diámetro mayor a 15 cm.) , cada capa deberá ser compactada por una unidad de equipo que pese por lo menos 22 Toneladas , cuando la capa tenga un espesor menor de 40 cm., y por lo menos 34 toneladas, cuando la capa tenga un espesor menor de 40 cm , y por lo menos de 34 toneladas, cuando la capa sea de espesor 40-60cm , medidos sin compactar. Los pesos minimos especificados son de la unidad compactadora especificamente, sin tomar en cuenta la unidad motriz de remolque si hubiera, y se refiere a equipo cuyo ancho de superficie de contacto con el material a compactarse no sea superior a los 3 metros. El equipo deberá efectuar un mínimo de 3 pasadas cuando esta un espesor menor a 25 cm, sin compactar, y un máximo de 8 pasadas completas cuando el espesor sea de 60cm; para cualquier espesor intermedio, el número de pasadas será aproximadamente en proporción a la diferencia entre tal espesor y los limites citados. El contratista podrá emplear equipo de otros pesos y variar el número de pasadas siempre que el demuestre , a satisfacción del fiscalizador, que el grado de compactación así obtenido es equivalente al grado logrado con el equipo y procedimiento especificados.

305-2.04.- Grado de compactación.- El grado de compactación relativa a obtenerse en las diferentes labores de la obra, estarán estipuladas en las especificaciones especiales. Como regla general se obtendrá los valores indicados en la tabla 305-2.1

Compactación relativa (Porcentaje)	Superficies o capas
90%	Terreno natural en zonas de relleno
95%	Terreno natural en zonas de corte
95%	Terraplenes ó rellenos
95%	Subrasantes formadas por suelo seleccionado

Tabla 305-2.1

Dicha compactación será comprobada por medio de los ensayos normales , conforme se indica en el numeral 303-1.02

## Cronograma de trabajos

En este cronograma vamos a considerar los siguientes pasos:

- **Desbroce**: se refiere a la limpieza del terreno, para ponerlo apto para el inicio de los trabajos respectivos.
- **Replanteo**: se refiere al estudio en si de cómo, va a ir colocado el ducto por donde va a pasar la fibra óptica, su profundidad, su diámetro, etc...
- **Excavación**: se refiere a la puesta en marcha de los trabajos a realizar.
- **Relleno**: se refiere a los puntos en donde, sea necesario rellenar y compactar la tierra.

La ejecución de la obra de instalación de la fibra óptica se realizará en dos etapas

### Etapa I

La primera etapa consistirá en la instalación de fibra óptica en la ruta que comprende el anillo central, esto se realizará en tres rutas que se trabajarán simultáneamente: Ruta Guayaquil – Quito, Guayaquil – Babahoyo - Cuenca, Quito – Babahoyo.

#### Tramo Guayaquil – Quito:

Longitud Guayaquil- Limite Guayas – Los Ríos:	136.75 Km.
Limite Guayas Los Ríos- Limite Los Ríos- Pichincha:	68.63 Km.
Longitud limite Pichincha Los Ríos - Aloag :	151.01 Km.
Longitud tramo Aloag - Quito :	14.32 Km.

Longitud Guayaquil- Quito : 370.71 Km.

El trabajo de desbroce se lo realiza a un promedio de 5 Km. por día trabajando 8 horas diarias. Esto daría un tiempo de 74 días.

El trabajo de excavación tiene un promedio de 2 Km. por un día de trabajo de 8 horas diarias, dando un tiempo de trabajo de 185 días

#### Tramo Quito - Babahoyo

Longitud tramo Aloag Limite Pichincha- Cotopaxi:	14.14 Km.
Longitud tramo provincia Cotopaxi:	54.28 Km.
Longitud tramo provincia del Tungurahua:	45.25 Km.
Longitud tramo provincia del Chimborazo:	41.29 Km.
Longitud Provincia de Bolívar :	101.07 Km.
Longitud Limite Bolívar – Los Ríos – Babahoyo :	39.00 Km.

Longitud : Quito – Babahoyo: 295.03 Km.

Periodo de tiempo para el Desbroce sería de 59 días

Periodo de Excavación : 148 días

### **Tramo Guayaquil - Babahoyo – Cuenca:**

Tramo Guayaquil – Babahoyo:	77	Km.
Entrada a Milagro - Limite Guayas Cañar:	52.5	Km.
Longitud provincia de Cañar :	159.53	Km.
Longitud provincia de Azuay :	9.56	Km.

Longitud Tramo Guayaquil- Babahoyo- Cuenca : 298.59 Km.

Periodo de tiempo para el Desbroce sería de 60 días

Periodo de Excavación : 149 días

Entonces en un periodo de 6 meses aproximadamente estaria concluida la instalación de fibra óptica en el anillo central de nuestra red . Una vez terminada esta etapa se comenzarian los trabajos de instalación de fibra óptica en su segunda fase .

## **Etapas II**

Para la segunda etapa se realizará la instalación de fibra óptica en los anillos de baja velocidad como son: anillo norte , anillo sur y anillo oeste. Los trabajos en estos anillos se realizarán de manera simultánea utilizando la misma maquinaria de trabajo de el anillo central.

### **Anillo Norte:**

Longitud de tramo anillo norte: 222.03 Km.

Periodo de tiempo para el Desbroce sería de 45 días

Periodo de Excavación : 112 días

### **Anillo Sur**

Longitud de carreteras en el anillo sur: 192.92Km.

Periodo de tiempo para el Desbroce sería de 39 días

Periodo de Excavación : 97 días

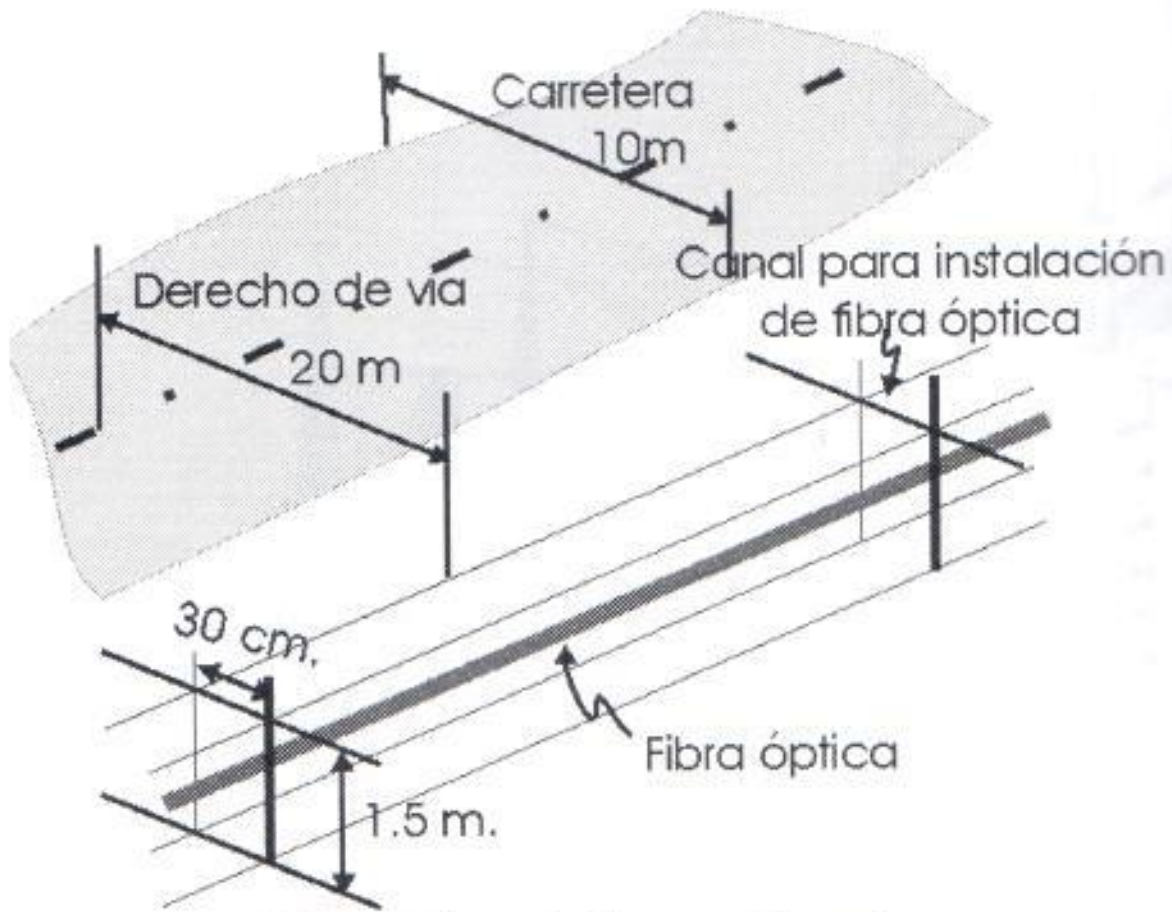
### **Anillo Oeste**

Longitud de carreteras en el anillo Oeste: 117.94 Km.

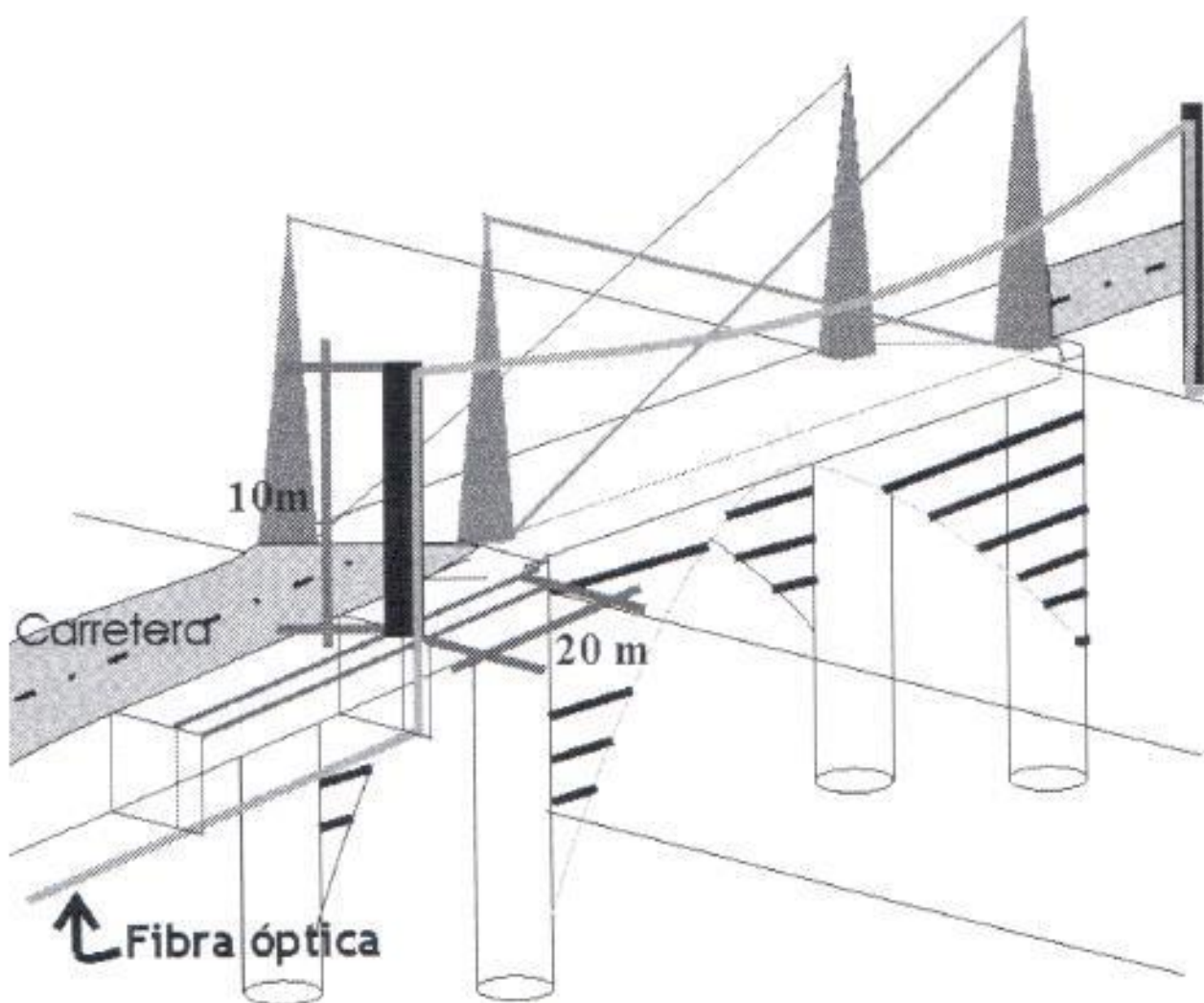
Periodo de tiempo para el Desbroce sería de 24 días

Periodo de Excavación : 59 días

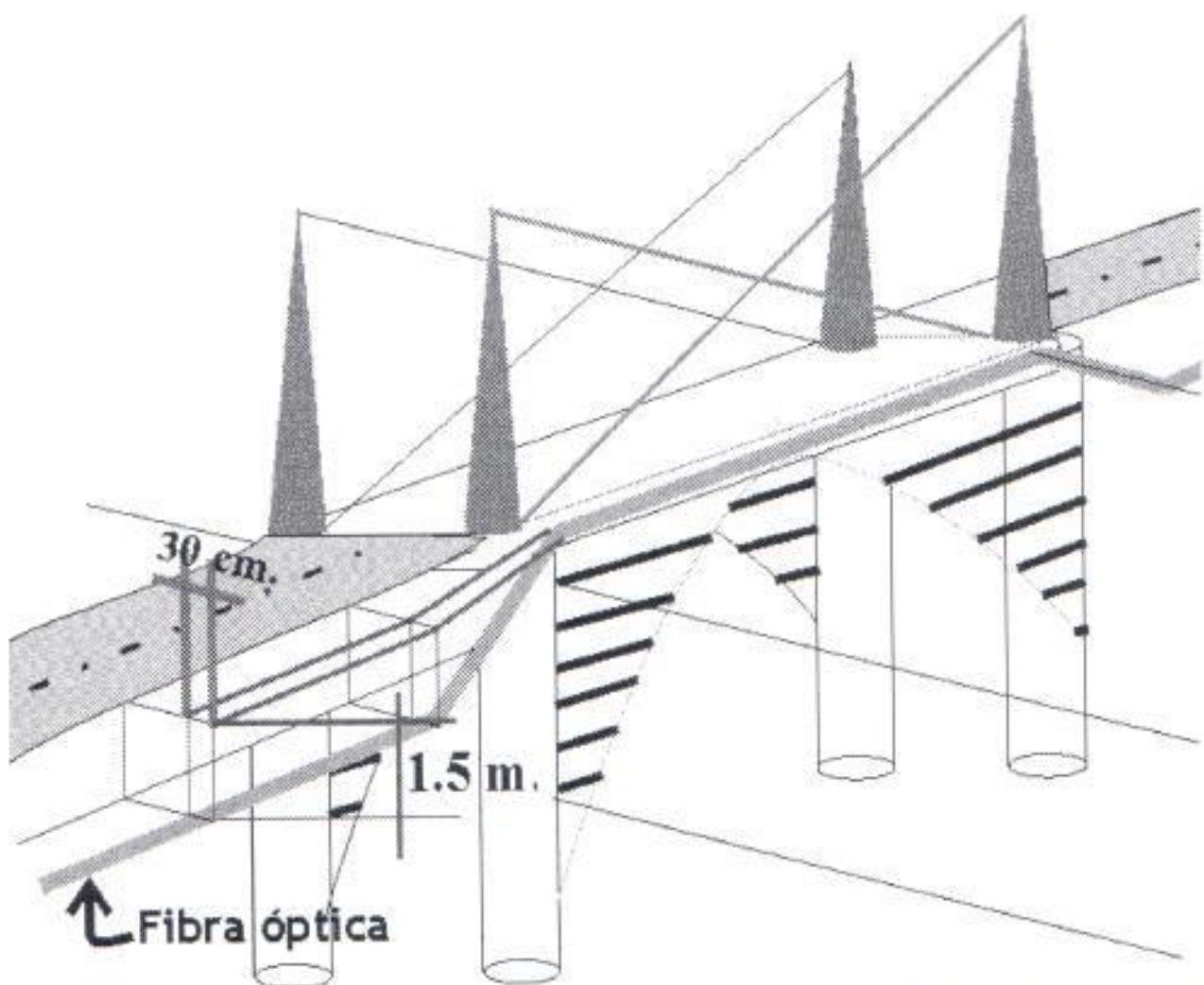




Instalación de Fibra óptica en Carreteras



Instalación de Fibra óptica aérea en Puentes



Instalación de Fibra óptica en Puentes por medio de Duc

# Apéndice C

Gráficos y tablas del estudio de mercado



	AMBAT	AZOGU	BABAH	BALZA	CANAR	CSHENE	DAULE	EL EM	EL TRI	GUARA	GUAYA	IBARR	LA TRO	LATAC	MACHA	MANTA	MILAG	OTAVA	PORTO	QUEVE	QUITO	ROBA	SANTA	SANTO	TULCA	total	
AMBATO	*****	1	2	1	1	35	3	1	1	0	40	11	3	10	14	17	2	2	11	5	39	9	1	17	4	230	
AZOGUES	1	*****	0	0	0	1	0	0	0	0	5	1	1	1	1	2	3	2	1	2	0	4	1	0	1	1	27
BABAHYOYO	2	0	*****	1	1	2	1	1	1	0	3	2	1	2	3	1	1	0	2	1	1	1	2	1	2	1	32
BALZAR	1	0	1	*****	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	19
CANAR	1	0	1	1	*****	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	19
CIENGA	35	1	2	1	1	*****	2	1	2	0	126	10	5	7	21	26	2	2	16	9	114	4	0	11	5	403	
DAULE	3	0	1	1	1	2	*****	1	1	0	3	1	2	2	1	1	1	2	0	0	2	2	2	1	3	1	33
EL EMPALM	1	0	1	1	1	1	1	*****	1	0	2	1	1	1	2	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	1	23
EL TRUNFO	1	0	1	1	1	2	1	1	*****	0	2	1	2	1	2	1	2	0	0	2	0	1	1	1	1	1	25
GUARANDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*****	2	1	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	28
GUAYAGOL	40	5	3	1	1	126	3	2	2	2	*****	11	4	9	37	31	6	2	13	13	156	11	2	18	9	507	
IBARRA	11	1	2	1	1	10	1	1	1	1	11	*****	2	6	7	7	1	2	4	3	14	5	1	9	6	108	
LA TRONCAL	3	1	1	1	1	5	2	1	2	1	4	2	*****	3	2	2	1	0	3	2	4	2	1	2	1	47	
LATRACUNGA	10	1	2	1	1	7	2	1	1	1	9	6	3	*****	4	4	1	2	4	3	10	8	2	7	3	93	
MACHALA	14	2	3	1	1	21	1	2	2	0	37	7	2	4	*****	14	3	1	11	8	25	5	3	6	3	176	
MANTA	17	3	1	1	1	28	1	1	1	0	31	7	2	4	14	*****	3	1	9	4	16	4	2	8	4	161	
MILAGRO	2	2	1	1	1	2	2	1	2	0	6	1	1	1	3	3	*****	0	0	3	3	1	1	2	1	40	
OTAVALO	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	0	2	1	1	0	*****	1	1	2	2	0	2	2	23	
PORTOVEJO	11	2	2	0	0	16	0	0	0	21	13	4	3	4	11	9	0	1	*****	4	21	3	1	5	1	132	
QUEVEDO	5	0	1	1	1	9	2	2	2	0	13	3	2	3	8	4	3	1	4	*****	10	3	2	6	2	87	
QUITO	39	4	1	0	0	114	2	1	0	0	156	14	4	10	23	16	3	2	21	10	*****	13	1	19	9	464	
ROBAMBA	9	1	2	1	1	4	2	1	1	1	11	5	2	8	5	4	1	2	3	3	13	*****	0	7	2	89	
SANTA ROSA	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	2	1	1	2	3	2	1	0	1	2	1	0	*****	1	1	25	
SANTO DOMI	17	1	2	1	1	11	3	1	1	1	18	9	2	7	6	8	2	2	5	6	19	7	1	*****	3	134	
TULCAN	4	1	1	1	1	5	1	1	1	1	0	9	6	1	3	4	1	2	1	2	9	2	1	3	*****	63	
																										2908	

Tabla C-2

	AMBATO	AZOGUE	BABAHU	BALZAR	CABAR	CUENCA	DAULE	EL EMP	EL TRU	GUARAN	GUAYAS	BARRA	LA TRON	LATAJU	MACHAL	MANTA	MILAGR	OTAVAL	PORTOV	QUEVEDO	QUITO	ROSBAM	SANTA	SANTO	TULCAN	total
BARRA	11	1	2	1	1	10	1	1	1	1	11	****	2	6	7	7	1	2	4	3	14	5	1	9	6	108
OTAVAL	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	0	2	1	1	0	****	1	1	2	2	0	2	2	23
TULCAN	4	1	1	1	1	5	1	1	1	0	9	6	1	3	3	4	1	2	1	2	9	2	1	3	****	63
																										194

Tabla C-3

	AMBATO	AZOGUE	BABAHU	BALZAR	CABAR	CUENCA	DAULE	EL EMP	EL TRU	GUARAN	GUAYAS	BARRA	LA TRON	LATAJU	MACHAL	MANTA	MILAGR	OTAVAL	PORTOV	QUEVEDO	QUITO	ROSBAM	SANTA	SANTO	TULCAN	total
MACHAL	14	2	3	1	1	21	1	2	2	0	37	7	2	4	****	14	3	1	11	8	25	5	3	6	3	176
SANTA	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	2	1	1	2	3	2	1	0	1	2	1	0	****	1	1	25
																										201

Tabla C-4

	AMBATO	AZOGUE	BABAHU	BALZAR	CABAR	CUENCA	DAULE	EL EMP	EL TRU	GUARAN	GUAYAS	BARRA	LA TRON	LATAJU	MACHAL	MANTA	MILAGR	OTAVAL	PORTOV	QUEVEDO	QUITO	ROSBAM	SANTA	SANTO	TULCAN	total
EL EMP	1	0	1	1	1	1	1	****	1	0	2	1	1	1	2	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	23
MANTA	17	3	1	1	1	26	1	1	1	0	31	7	2	4	14	****	3	1	9	4	16	4	2	8	4	161
PORTOV	11	2	2	0	0	16	0	0	0	21	13	4	3	4	11	9	0	1	****	4	21	3	1	5	1	132
																										316

Tabla C-5

## Empresas por ciudad - Región Costa

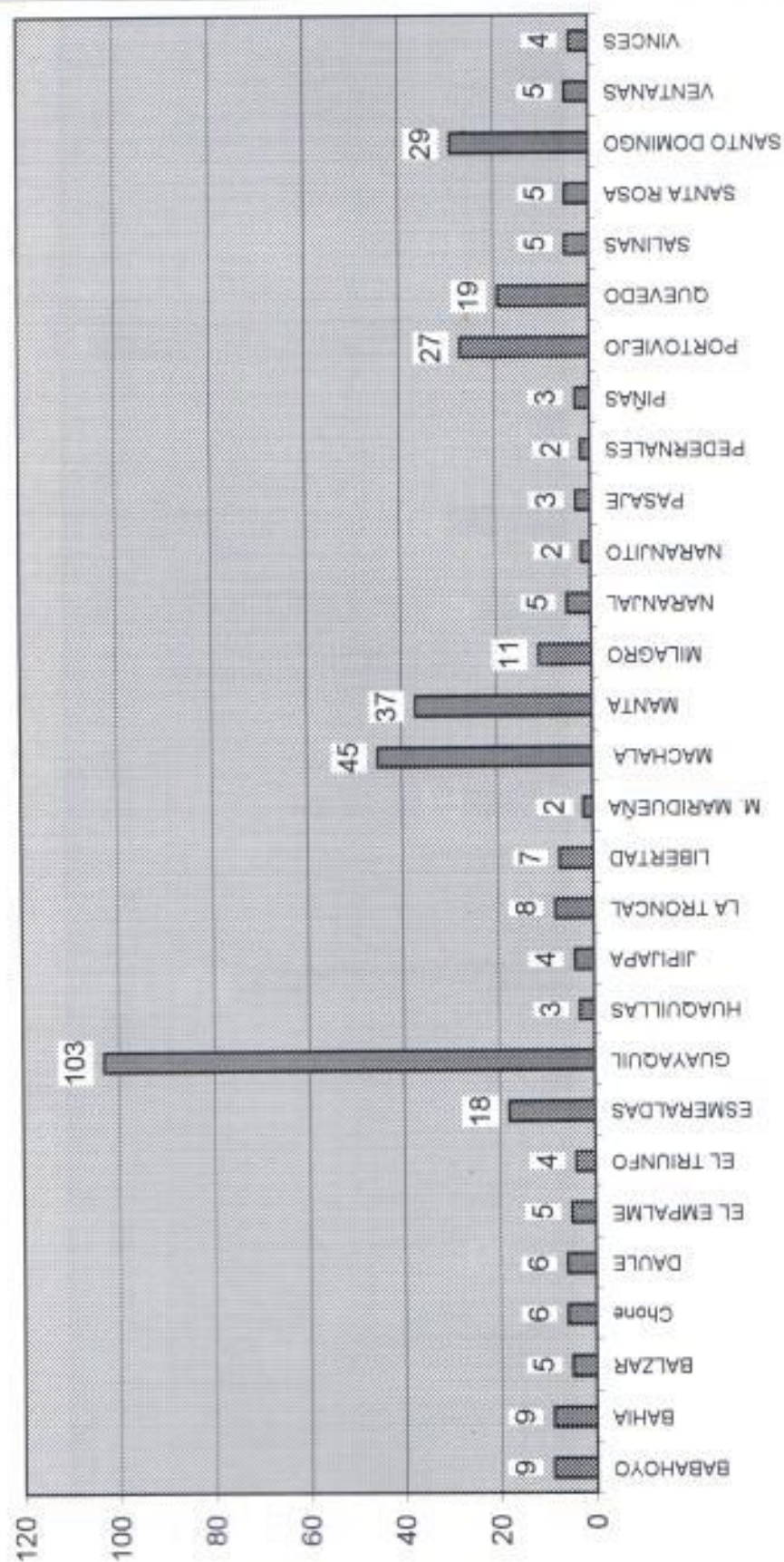


Gráfico C-1



## Empresas por ciudad - Región Sierra

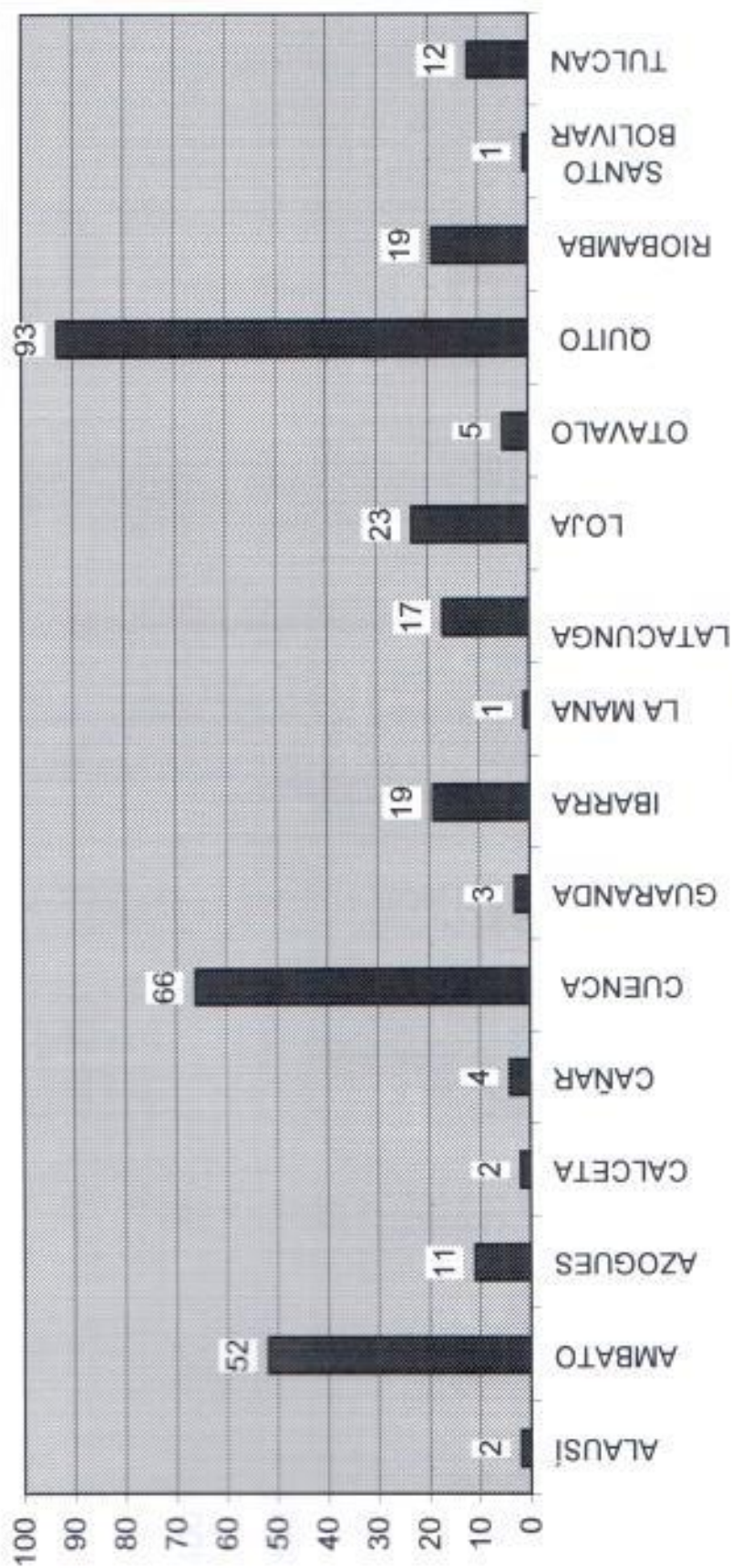


Gráfico C-2

## Canales de 64 Kbps - Región Costa

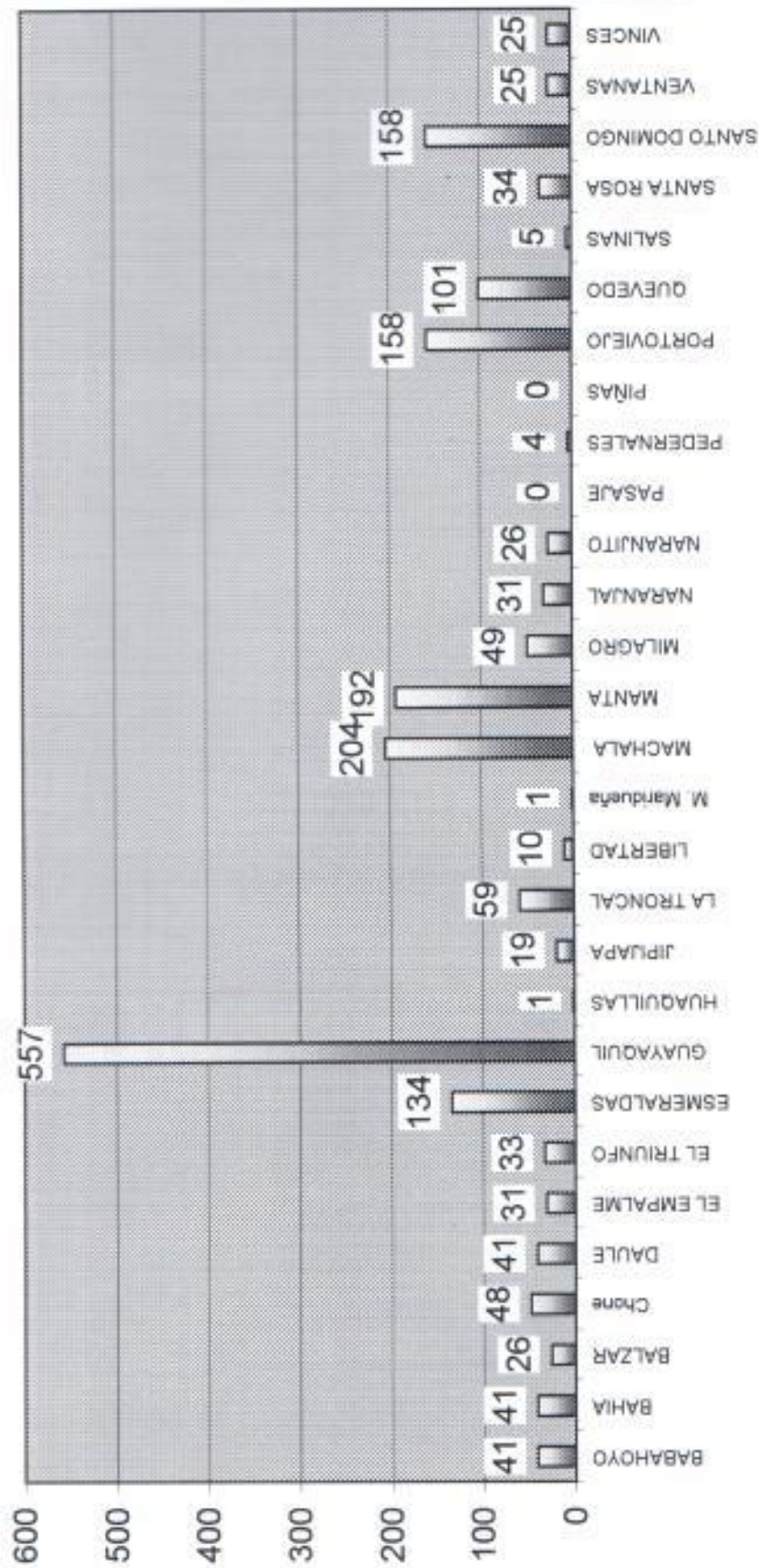


Gráfico C-3

## canales de 64Kbps-Región Sierra

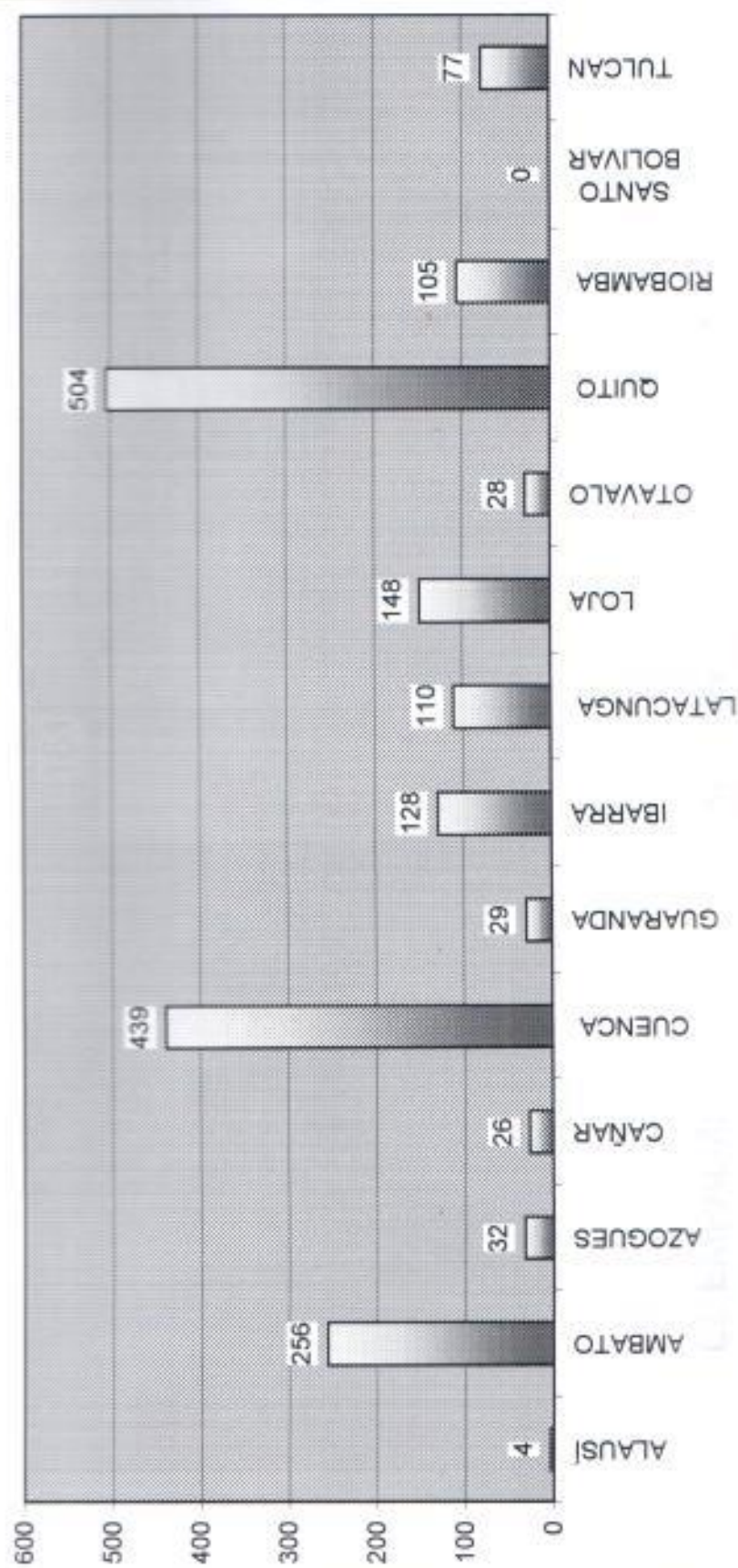


Gráfico C-4

## Canales 64Kbps - Anillo Oeste

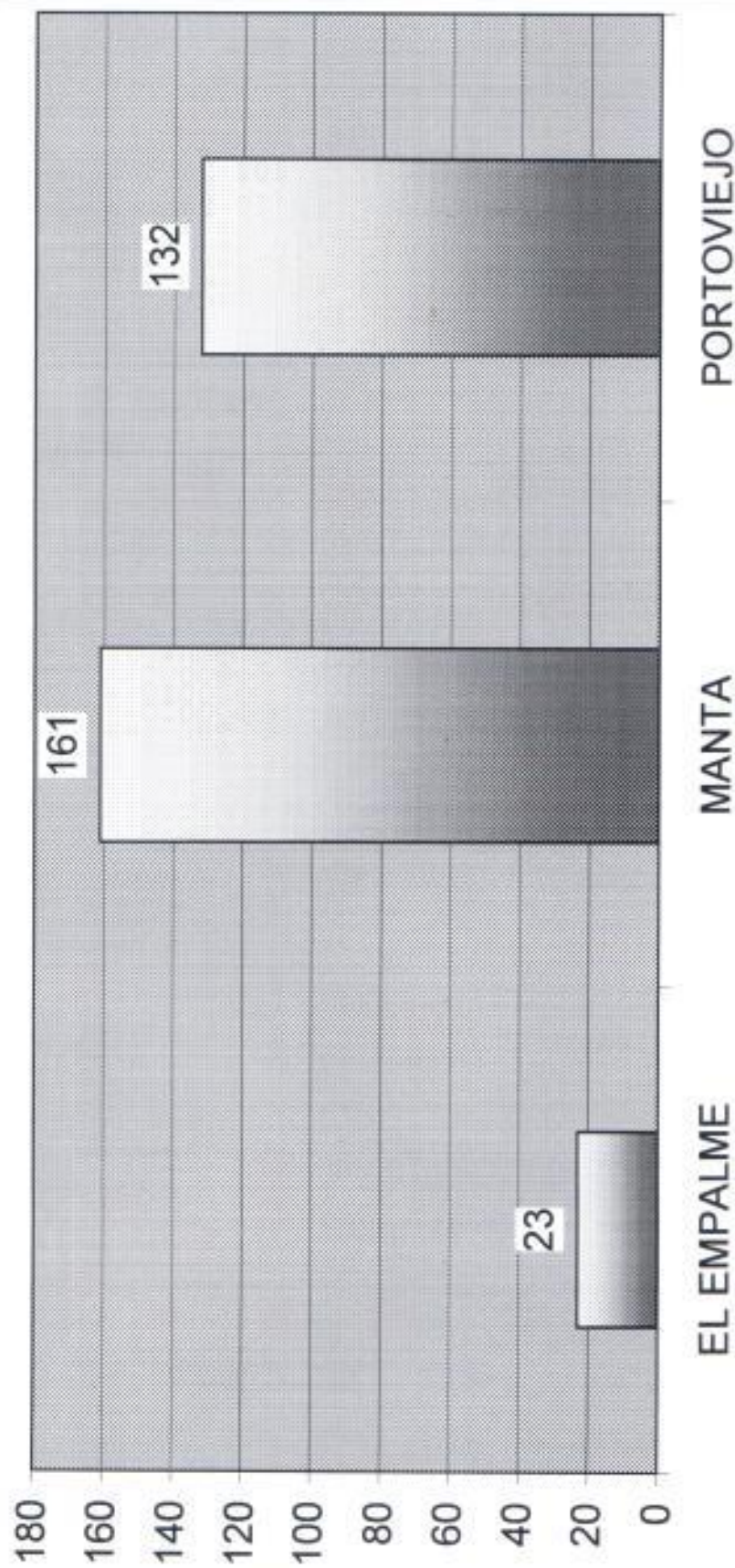
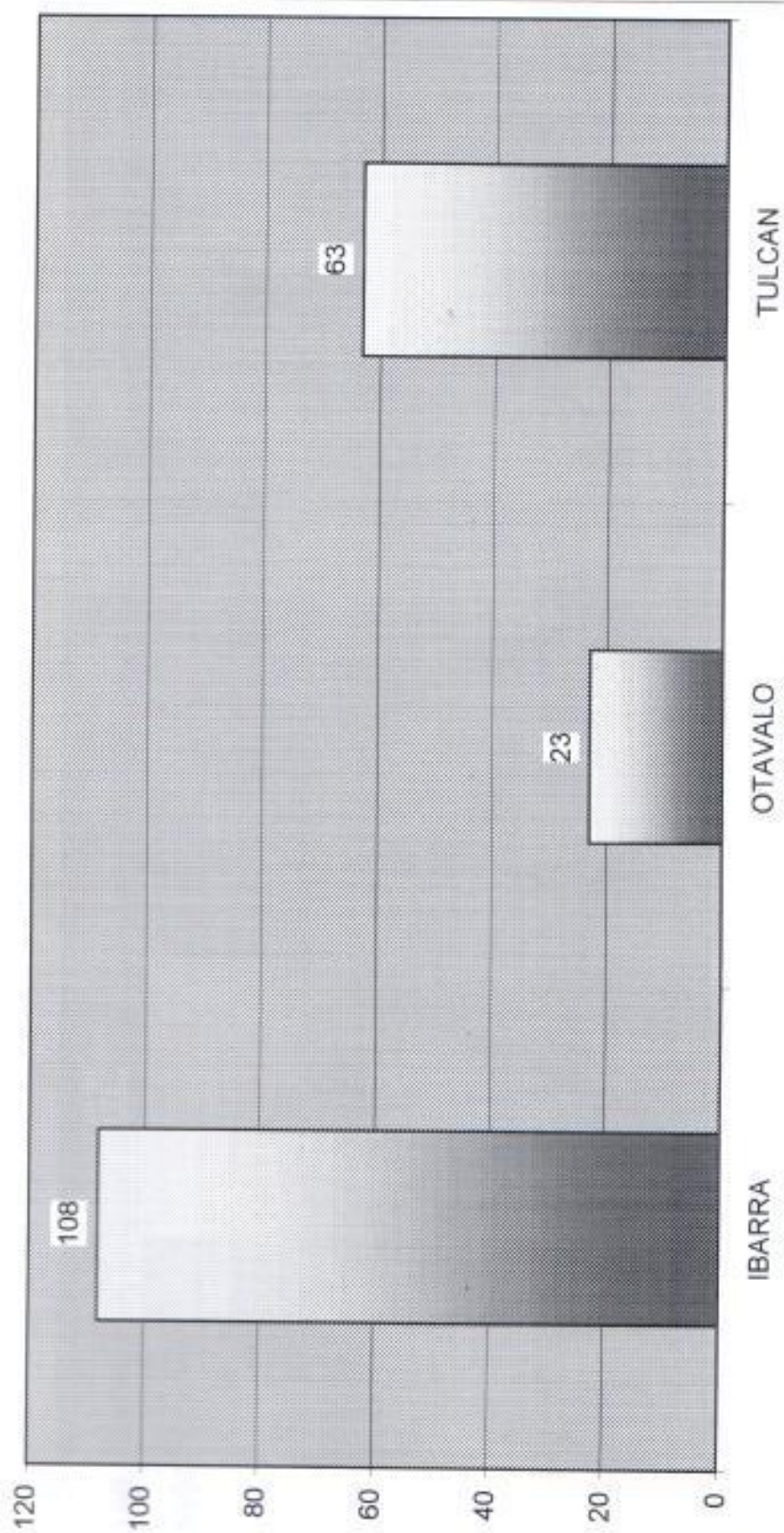


Gráfico C-5

**Canales de 64 Kbps. - Anillo Norte****Gráfico C-6**

IBARRA

TULCAN

OTAVALO

### Canales de 64 Kbps- Anillo Sur

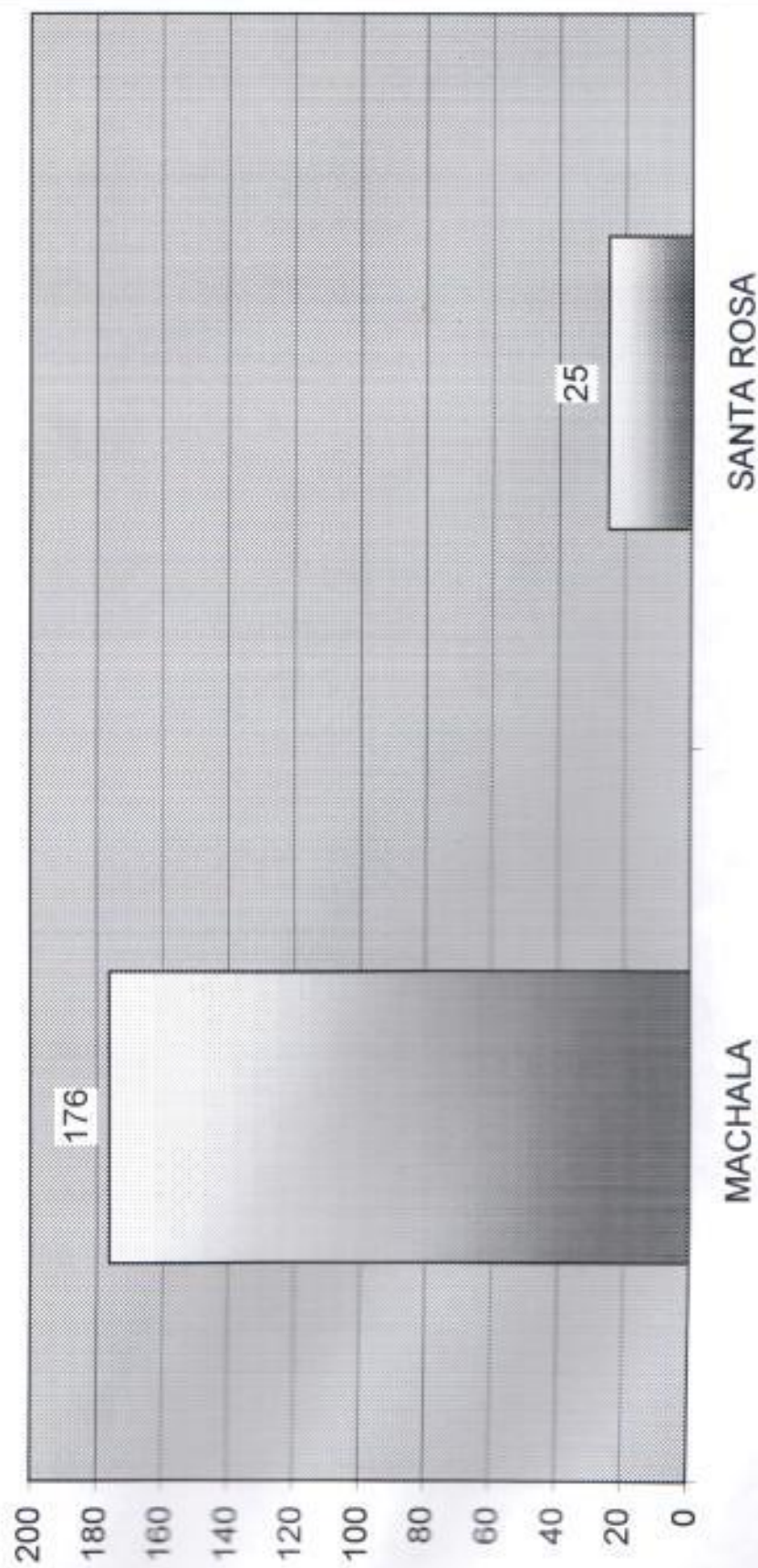


Gráfico C-7