



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN**

“TELECOMUNICACIÓN POR SISTEMAS ÓPTICOS”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA:

JORGE ANTONIO HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESORES:

ING. FEDERICO GARIBAY ITURBE
ING. TAIDE HERNÁNDEZ JUÁREZ

MÉXICO D.F. 2010

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD CULHUACAN**

TESIS INDIVIDUAL

Que como prueba escrita de su Examen Profesional para obtener el Título de Ingeniero en Comunicaciones y electrónica que deberá desarrollar el C.

JORGE ANTONIO HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

“TELECOMUNICACIÓN POR SISTEMAS ÓPTICOS”

Las telecomunicaciones han evolucionado de forma tal que hoy en día representan uno de los pilares más importantes que soportan el desarrollo de todos los países, México en su infraestructura actual requiere de Recursos Humanos óptimos, que en esta área del conocimiento impulse su expansión tecnológica. La Tesis titulada “TELECOMUNICACIÓN POR SISTEMAS OPTICOS” enfoca su contenido, sobre el medio de transmisión denominado Fibra óptica, incluyendo los conocimientos básicos, clasificación y técnicas de aplicación. La utilización del Láser y normas a observar, abordando las tecnologías propias en el manejo de información de alta velocidad, en las Redes LAN, WAN y la RDSI.

CAPITULADO

- I.- ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FIBRA ÓPTICA.
- II.- MEDIO DE TRANSMISIÓN FIBRA ÓPTICA.
- III.- NORMA IEEE802.3 EN FIBRA ÓPTICA.
- IV.- SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA.
- V.- TRANSPORTE DE INFORMACIÓN EN FIBRA ÓPTICA.
- VI.- PROTOTIPO DE RED LAN CON FIBRA ÓPTICA.
- VII.- VISIÓN DE RED LAN, WAN Y RDSI POR FIBRA ÓPTICA

México D. F., a 25 de septiembre de 2009

PRIMER ASESOR:



ING. FEDERICO GARIBAY ITURBE

SEGUNDO ASESOR:



ING. TAIDE HERNÁNDEZ JUÁREZ

Vo. Bo.



ING. IGNACIO MONROY OSTRÍA
JEFE DE LA CARRERA DE I.C.E.

APROBADO



M. en C. HÉCTOR BECERRIL MENDOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

DEDICATORIAS

A mis Padres:

Pues con su sacrificio, fortaleza, tenacidad y perseverancia aunadas a la confianza y apoyo incondicional que han depositado en cada una de mis decisiones, han sido siempre sumamente importantes en mi vida. Ya que, sin ustedes sería algo sin fundamento, sin historia ni trascendencia. La presente es el fruto de nuestro esfuerzo.

A mi Hermano:

Pues con tus consejos y apoyo, he aprendido a valorar más las experiencias vividas. Porque me siento muy orgulloso y agradecido de tenerte como hermano y amigo. Y porque sé, que muy pronto tu también lo lograras.

Con cariño, respeto y admiración esto es un logro dedicado a ustedes.

Jorge Antonio "Toño".

AGRADECIMIENTOS

Quisiera no mostrarme cursi en estas líneas, no es mi intención hacerlo; solo deseo expresar un sentir que por razones que escapan a mi total entendimiento, no me es posible decirlas a menudo.

A mis padres:

Teresa Rodríguez Ríos.

Guillermo Hernández Vázquez.

Gracias Mamá por todos los momentos en los que cuando he necesitado de ti, has estado no importando quien se disgustará por ello. Gracias por todo el apoyo y ayuda incondicional que me has dado durante el largo camino de la vida. Así como, por soportar las críticas de muchos que no estaban de acuerdo en tu apoyo hacia mi persona.

Gracias Papá por tus palabras de aliento que siempre fueron, son y serán un protagonista en mi vida. Incluyendo la importancia de la responsabilidad y el trabajo, valorando la vida y comprendiendo, que en ésta, nada es fácil. Por enseñarme que, a pesar de las adversidades, se puede y se debe seguir luchando por lo que se quiere y por los que se quieren.

Gracias a los dos por darme la oportunidad de vivir, por poner todo su esfuerzo en mi educación. Por las reprimendas, que en su momento cuestioné y que hoy valoro en demasía. Y gracias por ser quienes comparten mis logros y fracasos, tristezas y alegrías.

A mi hermano:

Luis Manuel Hernández Rodríguez.

Gracias Luis, porque en su momento me brindaste tu tiempo, para escucharme. Por lograr que entendiera que “Hay veces que la vida nos deja en confusión; pero que siempre será la necesaria”. Y recordar “Que para ser feliz: Primero hay que sufrir un poco; y así, lo único que nos espera para el futuro, será felicidad”. Gracias porque ambos sabemos que pase lo que pase, contaremos el uno con el otro.

A mis asesores:

Ing. Federico Garibay Iturbe.

Ing. Taide Hernández Juárez.

Gracias por su paciencia, apoyo, experiencia y aporte de sus valiosos conocimientos, en la elaboración y culminación de este gran logro. Gracias porque con su trabajo, dedicación y esfuerzo colaboraron para lograr este objetivo. Y gracias también por no abandonar este barco; que por un tiempo se hundía en su largo y truncado viaje.

A mi Institución:

Instituto Politécnico Nacional.

Gracias por haberme permitido ser un alumno del mismo, lo cual me llena de orgullo. Por permitirme estudiar, trabajar, divertirme, por dejarme tener independencia y libertad de expresión. Por querer mi superación y por hacer posible el desarrollo de mi proyecto de vida.

Porque es un orgullo ser un “Burro Blanco” del Politécnico.

Por último, pero no menos importante, agradezco a **Dios**; por permitirme llegar a esta etapa de mi vida. Gracias por colocarme en el seno de una gran familia. Y por proporcionarme las herramientas, poner en mi camino a las personas correctas y necesarias, para que hoy sea quien soy.

Jorge Antonio Hernández Rodríguez.

... La cuestión en la vida no es saber mucho, sino olvidarse de poco (Homero Expósito).

... No comparto tus ideas, pero defenderé con mi vida tu derecho a expresarlas (Voltaire).

... Si no deseas mucho, hasta las cosas pequeñas te parecerán grandes (Platón).

... En la vida hay algo peor que el fracaso; el no haber intentado nada. (Franklin D. Roosevelt)



“TELECOMUNICACIÓN POR SISTEMAS ÓPTICOS”

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	XXIII
CAPITULO I. ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FIBRA ÓPTICA.	1
1. Antecedentes Históricos de la Fibra Óptica.	2
2. Conceptos Teóricos de la Fibra Óptica.	4
2.1. Óptica Geométrica.	4
2.1.1. Espectro Electromagnético.	5
2.1.2. Longitud de Onda.	7
2.1.3. Índice de Refracción.	8
2.2. Reflexión.	8
2.2.1. Leyes de la Reflexión.	9
2.2.2. Ángulo Crítico de la Reflexión.	9
2.3. Refracción.	10
2.3.1. Ley de Snell o Ley de la Refracción.	11
2.3.2. Ángulo Incidental Crítico.	12
2.3.3. Apertura Numérica y Ángulo de Aceptación.	12
2.3.4. Reflexión Total.	13
3. Definición de la Fibra Óptica.	14
3.1. Ventajas de la Fibra Óptica.	14
4. Estructura de la Fibra Óptica.	15
4.1. Núcleo de la Fibra Óptica.	16
4.2. Revestimiento de la Fibra Óptica.	16
4.3. Recubrimiento Primario de la Fibra Óptica.	17
4.4. Condiciones entre los Índices de Refracción.	17
5. Tipos de Fibra Óptica.	18
5.1. Clasificación de las Fibras ópticas.	18
5.2. Propagación en la Fibra Óptica.	19
5.3. Modos de Propagación.	20
5.4. Fibras Monomodo.	21



5.4.1. Condición de Propagación de un Solo Modo.	22
5.4.2. Dispersión en la Fibra Monomodo.	22
5.4.3. Dispersión Modal.	22
5.4.4. Dispersión Intramodal.	22
5.4.5. Ventajas y Desventajas de la Fibra Monomodo.	23
5.5. Fibras Multimodo.	23
5.5.1. Perfiles de Índice.	24
5.5.2. Fibras de Índice Escalonado.	24
5.5.3. Propagación en una Fibra de Índice Escalonado.	25
5.5.4. Fibras de Índice Gradual.	26
5.5.5. Propagación en una Fibra de Índice Gradual.	27
6. Parámetros Característicos de las Fibras Ópticas.	27
6.1. Parámetros Geométricos de las Fibras Ópticas.	28
6.2. Parámetros Estructurales Ópticos.	30
6.2.1. Apertura Numérica.	31
6.2.2. Parámetro Estructural V.	31
6.2.3. Perfil de la Fibra Óptica.	32
6.2.4. Longitud de Onda Límite.	32
6.2.5. Diámetro del Campo Modal.	33
6.3. Parámetros Fundamentales de Transmisión.	34
6.3.1. Atenuación Espectral.	34
6.3.2. Dispersión y Ancho de Banda.	35
7. Pérdidas en una Fibra Óptica.	36
7.1. Pérdidas Intrínsecas y Extrínsecas.	36
7.1.1. Absorción.	36
7.1.2. Dispersión de Rayleigh.	37
7.1.3. Curvaturas y Microcurvaturas.	38
7.2. Pérdidas en la Conexión.	38
7.2.1. Desalineamiento Lateral.	38
7.2.2. Desalineamiento Angular.	39
7.2.3. Separación de las Fibras.	39
7.2.4. Extremos lisos y paralelos.	40
7.2.5. Variación del Diámetro y del Núcleo.	40
7.2.6. Pérdidas por Empalmes y Conectores.	40



CAPITULO II. MEDIO DE TRANSMISIÓN FIBRA ÓPTICA.	41
1. Cables.	42
1.1. Principios Químicos del Cable de Fibra Óptica.	42
1.1.1. Vidrio de Cuarzo.	42
1.1.2. Fabricación.	43
1.1.3. Propiedades del Material.	45
1.2. Parámetros y Métodos de Medición de los Cables de Fibra Óptica.	47
1.2.1. Condiciones de Excitación.	47
1.2.1.1. Cables de Fibras Ópticas Multimodo.	48
1.2.1.2. Cables de Fibras Ópticas Monomodo.	49
1.2.2. Atenuación.	49
1.2.2.1. Métodos de Medición.	51
1.2.2.1.1. Medición de Atenuación por Transmisión de Luz.	52
1.2.2.1.2. Método de Acoplador de Curvatura.	53
1.2.2.1.3. Método de Retrodispersión.	53
1.2.3. Ancho de Banda.	55
1.2.3.1. Métodos de Medición.	56
1.2.3.1.1. Medición en el Ámbito del Tiempo.	56
1.2.4. Dispersión.	56
1.2.4.1. Dispersión Modal.	58
1.2.4.2. Dispersión Cromática.	58
1.2.4.3. Dispersión por Modo de Polarización.	60
1.2.5. Longitud de Onda Límite.	60
1.2.5.1. Método de Medición por Variación de Curvatura.	61
1.2.6. Diámetro del Campo.	61
1.2.6.1. Método del Desplazamiento.	62
1.2.7. Campo Lejano.	63
1.2.7.1. Método de Medición.	63
1.2.8. Resistencia Mecánica.	64
1.3. Fabricación de Cables de Fibra Óptica.	64
1.3.1. Fabricación de la Preforma.	65
1.3.1.1. Método de Fusión de Vidrio.	65
1.3.2. Fabricación de la Preforma por Deposición de Vidrio a partir de la fase gaseosa.	66
1.3.2.1. Método OVD.	66
1.3.2.2. Método VAD.	67
1.3.2.3. Método MCVD.	68
1.3.2.4. Método PCVD.	69
1.3.3. Estirado de la Fibra.	69
1.4. Cables de Fibra Óptica.	70
1.4.1. Cables Huecos.	70
1.4.1.1. Relleno.	71
1.4.1.2. Fabricación.	72



1.4.2. Conductores por Grupos.	73
1.4.2.1. Fabricación.	73
1.4.3. Conductores Macizos.	74
1.4.3.1. Fabricación.	74
1.5. Composición de los Cables de Fibras Ópticas.	75
1.5.1. Alma del Cable.	75
1.5.1.1. Trenzado.	75
1.5.1.2. Dilatación y Contracción.	76
1.5.1.3. Relleno del Alma.	76
1.5.2. Vaina del Cable.	76
1.5.3. Vaina Protectora.	77
1.5.4. Armaduras.	77
1.6. Tipos de Cable de Fibra Óptica.	78
1.6.1. Cables Exteriores.	79
1.6.2. Cables Interiores.	80
1.6.3. Cables Submarinos.	80
2. Empalmes de Fibra Óptica.	82
2.1. Tipos de Empalmes.	82
2.1.1. Método Mecánico.	82
2.1.1.1. Pasos de un Empalme Mecánico.	83
2.1.2. Empalme por Método de Fusión.	83
2.1.2.1. Pasos para un Empalme de Fusión.	83
2.1.2.2. Empalmadora de Fusión.	84
2.2. Herramientas para Empalmes y Conectores.	85
2.3. Parámetros de un Empalme.	85
3. Conectores de Fibra Óptica.	85
3.1. Función de los Conectores.	86
3.2. Estructura de los Conectores.	87
3.3. Pérdidas en los Conectores.	88
3.4. Tipos de Conectores.	89
3.4.1. Clasificación de los Conectores.	89
3.4.2. Tipos de Conectores más Comunes.	89
3.5. Parámetros de los Conectores.	91
CAPITULO III. NORMA IEEE 802.3 EN FIBRA ÓPTICA.	93
1. Tecnologías de Redes.	94
1.1. Concepto de Red.	94



1.2. Componentes de una Red.	95
1.3. Clasificación de Redes.	95
1.3.1. LAN.	96
1.3.2. MAN.	97
1.3.3. WAN.	98
2. Modelo OSI.	99
2.1. Características.	100
2.2. Protocolos.	100
2.3. Modelo OSI y Comunicación entre Sistemas.	101
2.4. Interacción entre Capas.	102
2.5. Servicios de Capa.	102
2.6. Capas del Modelo OSI e Intercambio de Información.	103
2.7. Proceso de Intercambio de Información.	103
2.8. Capa 1: Física.	104
2.9. Capa 2: Enlace.	105
2.10. Capa 3: Red.	106
2.11. Capa 4: Transporte.	106
2.12. Capa 5: Sesión.	107
2.13. Capa 6: Presentación.	107
2.14. Capa 7: Aplicación.	108
2.15. Unidades de Información.	108
3. Modelo TCP/IP.	110
3.1. TCP/IP.	110
3.1.1. Arquitectura de TCP/IP.	111
3.2. Protocolos de la Capa Internet.	112
3.2.1. Protocolo IP.	112
3.2.2. Protocolo ICMP.	113
3.3. Protocolos de Capa de Transporte.	113
3.3.1. Protocolo TCP.	113
3.3.2. Protocolo UDP.	114
3.4. Protocolos de Seguridad en IP: IPSec.	115
4. Estándares de Redes.	115
4.1. Ethernet.	116
4.1.1. Características.	116
4.2. 10 Base F.	118
4.2.1. Los Estándares 10BaseF y FOIRL.	118



4.3. Fast Ethernet (IEEE 802.3u).	119
4.4. Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z).	119
4.5. Gigabit Ethernet sobre Fibra Óptica.	120
CAPITULO IV. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA.	122
1. Sistemas de Telecomunicación.	123
1.1. Descripción General.	123
2. Sistemas de Transmisión Ópticos.	124
2.1. Tipos de Señales a Transmitir.	124
2.2. Sistemas Analógicos y Digitales.	125
2.3. Conversión Analógica a Digital.	125
2.3.1. Leyes de Cuantificación (Ley A y Ley μ).	126
2.4. Técnica de Transmisión Digital.	126
2.5. Diagrama de un Enlace.	127
3. Transmisores Ópticos.	128
3.1. Equipos de Fotoemisión.	129
3.2. Fuentes Ópticas.	129
3.3. Diodos Emisor de Luz (LED).	130
3.3.1. Funcionamiento del LED.	130
3.3.2. Características de los LEDs.	131
3.4. Diodos LASER (LD).	132
3.4.1. Concepto de Láser.	132
3.4.2. Funcionamiento del diodo Láser.	132
3.4.3. Ventajas y Desventajas de los diodos Láser.	132
3.5. Modulación Óptica.	133
3.5.1. Modulación del Láser.	133
3.6. Factores de Ruido Típicos de las Fuentes de Luz.	134
3.6.1. Ruido de Partición de Modos.	134
3.6.2. Ruido Modal.	135
3.6.3. Ruido Hopping.	135
4. Receptores Ópticos.	135
4.1. Equipos de Detección.	136
4.2. Fotodetector PIN (Positive Intrinsic Negative).	136



4.3. Fotodetector de Avalancha APD (Avalanche Photodiode).	137
4.4. Características Comparativas entre Fotodetectores PIN y APD.	138
5. Equipo Repetidor.	138
5.1 Regeneradores Ópticos.	138
5.2. Amplificadores Ópticos.	139
5.2.1. Tipos de Amplificadores Ópticos.	141
5.2.2. Clasificación de Amplificadores por su Aplicación.	141
5.2.3. Clasificación de Amplificadores por su Estructura.	142
5.2.3.1. Amplificadores Ópticos de Semiconductor.	142
5.2.3.2. Amplificadores Ópticos de Fibra Dopada.	143
6. Dispositivos Pasivos.	145
6.1. Acopladores Ópticos.	145
6.2. Tipos de Acopladores.	145
6.2.1. Acoplador en T.	146
6.2.1.1. Divisor Óptico.	146
6.2.1.2. Combinador Óptico.	146
6.2.2. Acoplador en Estrella.	147
6.2.2.1. Acoplador en Estrella Transmisivo.	147
6.3. Conmutadores de Fibra Óptica.	147
6.4. Tipos de Conmutadores.	148
6.4.1. Conmutadores con Mando Electro-óptico.	148
6.4.2. Conmutadores con Mando Electromecánico.	149
6.4.2.1. Conmutadores Electromecánicos de Fibra Móvil.	149
6.4.2.2. Conmutadores Electromecánicos de Óptica Móvil.	149
6.5. Multiplexores y Demultiplexores.	149
6.5.1. Multiplexores.	150
6.5.2. Demultiplexores.	150
CAPITULO V. TRANSPORTE DE INFORMACIÓN EN FIBRA ÓPTICA.	151
1. Tendencias y Requerimientos.	152
1.1. Exigencias para la Red de Transporte.	152
1.1.1. Capacidad de Transmisión.	152
1.1.2. Alcance y Confiabilidad.	152



2. Transmisión de Varias Señales.	153
2.1. Multicanalización por División de Tiempo.	153
2.2. Multicanalización por División de Longitud de Onda.	153
3. Tecnologías de Transporte.	155
3.1. Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra Óptica (FDDI).	155
3.1.1 Método de Acceso.	155
3.1.2. Especificaciones.	156
3.1.3. Transmisión.	156
3.2. Modo de Transmisión Asíncrona (ATM).	156
3.2.1. Método de Acceso.	157
3.2.2. Célula ATM.	158
3.2.3. Conmutación ATM.	158
3.2.3.1. Circuito Virtual.	158
3.2.4. Medios Físicos en ATM.	158
3.2.5. Protocolo ATM.	159
3.2.6. Control de Tráfico en ATM.	159
3.3. Tecnología PDH.	159
3.3.1. Jerarquías Europea E1, Norteamericana T1 y Japonesa J1.	160
3.3.2. Estructura de la Trama Digital E1.	161
3.3.3. Niveles de Multiplexación.	162
3.4. Tecnología SDH.	163
3.4.1. Orígenes y Antecedentes de las Redes SDH.	163
3.4.2. Definición de SONET.	164
3.4.3. Definición de SDH.	164
3.4.4. Modulo de Transporte Síncrono (STM-N).	165
3.4.5. Estructura de la Trama STM-1.	166
3.4.6. Ventajas de SDH.	167
CAPITULO VI. PROTOTIPO DE RED LAN CON FIBRA ÓPTICA.	169
1. Situaciones de una Red de Datos.	170
1.1. Análisis de una Red Convencional.	170
1.2. Tendencias Actuales.	170
2. Prototipo de Una Red de Telecomunicaciones Moderna.	171
2.1. Origen del Cableado Estructurado.	171
2.2. Sistema de Cableado Estructurado.	172



2.3. Componentes del Sistema de Cableado Estructurado.	173
2.3.1. Acometida.	174
2.3.2. Cuarto de Equipo.	174
2.3.3. Cableado del Backbone (Vertical).	175
2.3.4. Cuarto de Telecomunicaciones.	175
2.3.5. Cableado Horizontal.	177
2.3.5.1. Consideraciones de Diseño.	178
2.3.5.2. Topología.	179
2.3.5.3. Distancia del Cable.	179
2.3.5.4. Tipos de Cable.	179
2.3.5.5. Interferencia Electromagnética.	179
2.3.6. Cuarto de Entrada de Servicios.	180
2.3.7. Sistema de Puesta a Tierra y Puenteado.	180
2.3.8. Documentación.	180
2.4. Normas.	181
2.4.1. Organizaciones.	181
2.4.2. Organizaciones de Comercio.	182
2.4.3. Laboratorios de Pruebas.	182
2.4.4. Códigos.	183
2.4.5. Estándares de Cableados.	183
3. Metodología Propuesta para el Diseño de una Red.	184
3.1. Determinar las necesidades del Cliente.	185
3.2. Diseño de la Red.	187
3.3. Prototipo y/o Piloto.	189
3.4. Implementación Masiva.	191
3.5. Operación y Mantenimiento.	191
3.6. Monitoreo y Análisis de Rendimiento.	192
4. Implementación de la Metodología.	194
4.1. Caracterización de la Red existente.	195
4.1.1. Objetivos.	195
4.1.2. Caracterizando la Red.	195
4.1.2.1. Obtención de datos administrativos.	195
4.1.2.2. Obtención de datos técnicos.	196
4.1.2.3. Herramientas para caracterizar una Red.	197
4.1.3. Caracterizando una Red.	197
4.1.3.1. Paso 1: Caracterizando las Aplicaciones.	197
4.1.3.2. Paso 2: Caracterizando los Protocolos.	198
4.1.3.3. Paso 3: Documentando la Red Actual.	199
4.1.3.4. Paso 4: Identificar los cuellos de botella potenciales.	199
4.1.3.5. Paso 5: Identificar las limitantes del negocio y entradas en el diseño de la red	200
4.1.3.6. Paso 6: Caracterizar la disponibilidad de la red existente.	200



4.1.3.7. Paso 7: Caracterizar el desempeño de la red.	201
4.1.3.8. Paso 8: Caracterizar la utilización de la red.	201
4.1.3.9. Paso 9: Caracterizar las herramientas y sistemas de administración de la red existente.	202
4.2. Obteniendo las nuevas necesidades.	202
4.2.1. Objetivos.	202
4.2.2. Determinar las nuevas necesidades de los usuarios de la red.	203
4.2.2.1. Paso 1: Identificar las limitantes del negocio.	203
4.2.2.2. Paso 2: Identificar los requerimientos de seguridad.	203
4.2.2.3. Paso 3: Identificar los requerimientos de administración.	203
4.2.2.4. Paso 4: Obtener los requerimientos de aplicaciones.	204
4.2.2.5. Paso 5: Caracterizar el nuevo tráfico de red.	204
4.2.2.6. Paso 6: Identificar los requerimientos de diseño.	204
4.3. Diseño de la topología de red.	204
4.4. Provisión de hardware y medios de comunicación LAN.	205
4.5.1. Objetivos.	205
4.5.2. Resolviendo problemas con la interconexión.	205
4.5. Diseño del modelo de nombres y el modelo de direccionamiento de red.	205
4.5.1. Objetivos.	205
4.5.2. Modelo de Direccionamiento.	206
4.6. Seleccionando una estrategia de administración de red.	207
4.6.1. Objetivos.	207
4.6.2. Las metas de la administración de la red.	207
4.6.3. Procesos de la administración de red.	207
4.6.4. Administración proactiva de red.	208
4.6.4.1. Desarrollando estrategias de administración proactiva de red.	209
4.6.5. Monitoreo remoto.	209
4.7. Documento de diseño.	210
4.7.1. Objetivo.	210
4.7.2. Contenido del documento de diseño.	210
4.8. Validando el diseño de red.	211
4.8.1. Objetivos.	211
4.8.2. Pasos para construir un prototipo.	212
4.8.3. Pasos para construir un piloto.	212
4.8.4. Mostrando los resultados.	213



CAPITULO VII. VISIÓN DE UNA RED LAN, MAN, WAN y RDSI POR FIBRA ÓPTICA.	214
1. Redes de Alta Disponibilidad.	215
1.1. Introducción a las Redes de Alta Disponibilidad.	215
1.2. Necesidades de mayores Tasas de Transmisión.	216
2. Red Digital de Servicios Integrados.	216
2.1. RDSI de Banda Estrecha.	216
2.2. Transmisión Digital.	217
2.3. Estructura de la RDSI.	218
2.3.1. Canales Portadores (Canales B).	218
2.3.2. Canales de Señalización (Canales D).	219
2.4. Estándares de Interfaz de Usuario.	220
2.4.1. Interfaz de Tasa Básica (BRI).	220
2.4.2. Interfaz de Tasa Primaria (PRI).	220
2.5. Modo de Operación de la RDSI.	221
2.6. Componentes Básicos de la RDSI.	221
2.7. Puntos de Referencia.	222
2.8. Señalización entre Centrales.	223
2.8.1. Señalización por Canal Asociado.	224
2.8.2. Señalización por Canal Común.	224
2.9. Interfaz de Tasa de Banda Ancha.	224
2.10. RDSI de Banda Ancha (Broad Band ISDN).	224
2.11. Designación del Ancho de Banda Dinámico.	225
2.12. Servicios sobre la RDSI.	225
3. Redes Multiservicio.	225
3.1. Calidad de servicios QoS.	226
3.2. Características de tráfico.	226
3.2.1. Ancho de banda.	227
3.2.2. Delay.	227
3.2.3. Jitter.	228
3.2.4. Pérdida de paquetes.	228



4. Redes de próxima generación.	228
4.1. Introducción.	228
4.2. Propuesta de evolución.	230
4.2.1. Dotación de capacidad en el núcleo de la red.	230
4.2.2. Dotación de calidad al núcleo de red.	231
4.2.3. Despliegue de servicios.	231
4.2.4. Mejora del acceso.	232
Conclusiones.	233
Bibliografía.	234
Glosario.	237
Anexos.	249

**LISTADO DE FIGURAS**

	PÁG.
Figura I.1a. Espectro Electromagnético (Frecuencia).	5
Figura I.1b. Espectro Electromagnético (Longitud de Onda).	5
Figura I.2. Región Óptica.	6
Figura I.3. La luz es una onda electromagnética que se desplaza mediante fotones.	7
Figura I.4. Ley de la Reflexión.	9
Figura I.5. Zonas de reflexión y refracción.	10
Figura I.6. Efecto de refracción.	10
Figura I.7a. Se presenta la refracción con $\theta_i > \theta_t$	11
Figura I.7b. Se representa la reflexión con $\theta_t > \theta_i$	11
Figura I.8a. Ángulo Incidental Crítico $\theta_t < 90^\circ$	12
Figura I.8b. Ángulo Incidental Crítico $\theta_t > 90^\circ$	12
Figura I.8c. Ángulo Incidental Crítico $\theta_t = 90^\circ$	12
Figura I.9. Vista transversal de la Fibra Óptica.	14
Figura I.10. Estructura de la Fibra Óptica.	15
Figura I.11. Propagación de la luz en la Fibra Óptica.	19
Figura I.12. Modos de propagación.	20
Figura I.13. Diámetro del núcleo de una Fibra Monomodo.	21
Figura I.14. Fibra Monomodo.	22
Figura I.15. Diámetro de una Fibra Multimodo.	23
Figura I.16. Fibra Óptica Multimodo de Índice Escalonado.	24
Figura I.17. Funcionamiento de Índice Escalonado.	25
Figura I.18. Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual.	26
Figura I.19. Funcionamiento de Índice Gradual.	27
Figura I.20. Corrimiento de los núcleos de las fibras transmisora y receptora.	39
Figura I.21. Desalineamiento Angular.	39
Figura I.22. Un fluido adaptador de índice disminuye las pérdidas.	39
Figura II.1. Variación de la viscosidad del vidrio de cuarzo en función de la temperatura	42
Figura II.2. Índices de refracción de SiO ₂ con diferentes dopantes.	44
Figura II.3. Atenuación.	50
Figura II.4. Ventanas ópticas.	51
Figura II.5. Expresiones para la Atenuación.	52
Figura II.6. Método de medición de la atenuación por transmisión de luz.	53
Figura II.7. Método de retrodispersión.	53
Figura II.8. Curva obtenida en una medición por retrodispersión.	54
Figura II.9. Dispersión cromática contra longitud de onda.	59
Figura II.10. Variación de la Dispersión según materiales.	59
Figura II.11. Dispersión por Modo de Polarización en la Fibra Óptica.	60
Figura II.12. Gráfica de los valores de atenuación.	61
Figura II.13. Variación de la amplitud de campo del modo fundamental.	61
Figura II.14. Determinación del diámetro del campo por método de desplazamiento.	63
Figura II.15. Diámetro de campo en función de la longitud de onda.	63
Figura II.16. Medición del Campo Lejano.	64
Figura II.17. Método OVD.	67



Figura II.18. Método VAD.	67
Figura II.19. Método MCVD.	68
Figura II.20. Método PCVD.	69
Figura II.21. Esquema del estirado de la fibra.	70
Figura II.22. Posición del conductor de fibras ópticas.	71
Figura II.23. Relleno del conductor hueco.	72
Figura II.24. Conductor por grupos.	73
Figura II.25. Conductor macizo.	74
Figura II.26. Trenzado S-Z.	76
Figura II.27. Estructura de un cable submarino.	81
Figura II.28. Empalme por Método Mecánico.	83
Figura II.29. Empalme por Método de Fusión.	84
Figura II.30. Empalmadora de Fusión.	84
Figura II.31. Principio del acoplamiento frontal.	86
Figura II.32. Componentes de un conector.	87
Figura II.33. Desalineamientos de las fibras ópticas.	88
Figura II.34. Pulido PC y APC.	89
Figura II.35. Conector SMA.	90
Figura II.36. Conector FC.	90
Figura II.37. Conector SC.	90
Figura II.38. Conector ST.	91
Figura III.1. Red LAN.	97
Figura III.2. Red MAN.	97
Figura III.3. Red WAN.	98
Figura III.4. El modelo OSI.	99
Figura III.5. Dos juegos entrelazados de capas superiores del Modelo OSI.	100
Figura III.6. Capas del Modelo OSI comunicándose.	101
Figura III.7. Usuarios de servicio, proveedores, e interacción.	102
Figura III.8. Subcapas de la Capa de Enlace.	105
Figura III.9. Componentes básicos de una trama.	109
Figura III.10. Componentes que constituyen una celda típica.	109
Figura IV.1. Sistema de Telecomunicaciones.	123
Figura IV.2. Fases de un Sistema de Telecomunicaciones.	123
Figura IV.3. Sistema de Comunicación por Fibra Óptica.	127
Figura IV.4. Repetidor Óptico.	127
Figura IV.5. Sistema general de Comunicación por Fibra Óptica con conectores.	128
Figura IV.6. Diodo sin polarizar.	131
Figura IV.7. Diodo con polarización directa.	131
Figura IV.8. Corte esquemático de un Fotodiodo PIN.	137
Figura IV.9. Corte esquemático de un Fotodiodo APD.	137
Figura IV.10. Proceso de regeneración óptica.	139
Figura IV.11. Amplificador Óptico.	140
Figura IV.12. Funcionamiento de un Amplificador Óptico.	140
Figura IV.13. Clasificación de Amplificadores.	141
Figura IV.14. Estructura de un SOA de onda viajera.	143
Figura IV.15. Diseño de un EDFA.	144
Figura IV.16. Divisor Óptico.	146



Figura IV.17. Combinador Óptico.	147
Figura IV.18. Acoplador en estrella transmisivo.	147
Figura IV.19. Función Multiplexora y Demultiplexora.	150
Figura V.1. Multiplexación por División de Longitud de Onda.	154
Figura V.2. Anillos de FDDI.	155
Figura V.3. Estructura de Trama Digital E1.	161
Figura V.4. Niveles superiores de Multiplexación (E2).	162
Figura V.5. Estructura de Multiplexación en SDH.	166
Figura V.6. Formato de Trama STM-1.	167
Figura VI.1. Cableado Estructurado.	172
Figura VI.2. Simulación de un Sistema de Cableado Estructurado.	174
Figura VI.3. Acometida.	174
Figura VI.4. Cableado Vertical.	175
Figura VI.5. Cableado Horizontal.	178
Figura VI.6. Diagrama Cableado Estructura Horizontal.	179
Figura VI.7. Etapas para la implementación de una Red.	185
Figura VI.8. Requerimientos de los usuarios de Red.	187
Figura VI.9. Dispositivos de Red.	188
Figura VI.10. Simulación de Redes.	190
Figura VI.11. Diseño en Forma Descendente.	194
Figura VII.1. Interfaz de Red-Usuario BRI.	220
Figura VII.2. Interfaz de Red-Usuario PRI.	221
Figura VII.3. Componentes Básicos de la RDSI.	222
Figura VII.4. Configuración de RDSI.	223
Figura VII.5. Evolución propuesta hacia las redes de nueva generación.	230
Figura VII.6. Presente y Futuro del Núcleo de Red.	231

**LISTADO DE TABLAS**

	PÁG.
Tabla I.1. Correspondencia entra Longitud-Frecuencia.	6
Tabla I.2. Índices típicos de refracción.	8
Tabla I.3. Índices de refracción de las capas concéntricas.	18
Tabla I.4. Clasificación de las Fibras Ópticas.	18
Tabla I.5. Ventajas y Desventajas de la Fibra Monomodo.	23
Tabla II.1. Temperaturas características del vidrio de cuarzo.	43
Tabla II.2. Características del vidrio de cuarzo.	45
Tabla II.3. Coeficientes de Atenuación típicos.	51
Tabla II.4. Nomenclatura de Pulido.	89
Tabla II.5. Conectores de Fibra Óptica.	92
Tabla III.1. Aplicaciones de Capa Física para la LAN y WAN.	104
Tabla III.2. Relación Modelo OSI con Modelo TCP/IP.	111
Tabla III.3. Estándares de Redes.	116
Tabla III.4. Tipos de medios más comunes en LANs 802.3.	117
Tabla III.5. Medios de Transmisión para Fast Ethernet.	119
Tabla III.6. Tipos de Medios para Gigabit Ethernet.	120
Tabla IV.1. Característica comparativa entre PIN y APD.	138
Tabla V.1. Velocidades de Transmisión en PDH.	160
Tabla V.2. Jerarquías Digitales.	161
Tabla V.3. Velocidades SONET/SDH más habituales.	165
Tabla V.4. Velocidades de STM.	167
Tabla VI.1. Componentes del Cableado Estructurado.	173
Tabla VI.2. Cuarto de Telecomunicaciones.	176
Tabla VI.3. Principales estándares de telecomunicaciones en edificios.	183
Tabla VI.4. Resumen de aplicaciones.	198
Tabla VI.5. Resumen de protocolos.	198
Tabla VI.6. Caracterización de Tráfico.	199
Tabla VI.7. Disponibilidad de la Red.	201
Tabla VI.8. Medida de Tiempo / Desempeño de Respuesta.	201
Tabla VI.9. Utilización de Red.	202
Tabla VI.10. Procesos para la Administración de Red.	208
Tabla VII.1. Ejemplos de Canales tipo H.	219
Tabla VII.2. Comportamiento de Tráfico sin QoS.	227

**LISTADO DE FORMULAS Y ECUACIONES**

	PÁG.
Fórmula 1. Índice de Refracción.	8
Fórmula 2. Ley de la Reflexión.	9
Fórmula 3. Ley de Snell o Ley de la Refracción.	11
Fórmula 4. Ángulo Incidental Crítico.	12
Fórmula 5. Apertura Numérica.	13
Fórmula 6. Apertura Numérica.	13
Fórmula 7. Apertura Numérica.	13
Fórmula 8. Ángulo Incidental Crítico con $\eta_1 > \eta_2$.	13
Fórmula 9. Índice de refracción del Núcleo.	16
Fórmula 10. Ángulo Crítico.	20
Fórmula 11. Ángulo Crítico de Propagación.	20
Fórmula 12. Diferencia Normalizada de Índices de Refracción.	29
Fórmula 13. Diferencia Normalizada con Apertura Numérica.	29
Fórmula 14. Distribución de los Índices de Refracción para el núcleo de la Fibra.	29
Fórmula 15. Índice de Refracción en el Revestimiento de la Fibra.	29
Fórmula 16. Parámetro Estructural adimensional V.	32
Fórmula 17. Longitud de Onda Límite.	32
Fórmula 18. Diámetro del Campo Modal.	33
Fórmula 19. Atenuación Espectral.	34
Fórmula 20. Desarrollo de la Atenuación Espectral.	35
Fórmula 21. Ancho de Banda.	35
Fórmula 22. Ecuación de la reacción para el vidrio de cuarzo.	43
Fórmula 23. Variación de longitud ΔL .	45
Fórmula 24. Superficie de la sección de vidrio.	46
Fórmula 25. Peso (G) del vidrio.	46
Fórmula 26. Tensión o Tracción.	46
Fórmula 27. Ley de Hooke para la Tensión (Elasticidad).	46
Fórmula 28. Dilatación Longitudinal.	46
Fórmula 29. Fuerza de Tracción para una sección de la Fibra.	47
Fórmula 30. Coeficiente de Poisson.	47
Fórmula 31. Coeficiente de Poisson en base al módulo de elasticidad y de torsión.	47
Fórmula 32. Desarrollo del Coeficiente de Poisson.	47
Fórmula 33. Reducción del diámetro a partir de un estiramiento.	47
Fórmula 34. Coeficiente de Atenuación.	52
Fórmula 35. Calculo de Longitud de la Fibra Óptica.	54
Fórmula 36. Coeficiente de Atenuación de un tramo parcial de la Fibra Óptica.	54
Fórmula 37. Ensanchamiento de un pulso en el ámbito del tiempo.	56
Fórmula 38. Ancho de Banda con ensanchamiento del pulso.	56
Fórmula 39. Dispersión Modal.	58
Fórmula 40. Dispersión Modal para fibras de índice gradual.	58
Fórmula 41. Parámetro Estructural V dependiente de la longitud de onda y de la AN.	62
Fórmula 42. Radio del Campo ω_0 .	62



Fórmula 43. Medición del campo lejano.	63
Fórmula 44. Ley A (De 13 segmentos).	126
Fórmula 45. Ley A (De 13 segmentos).	126
Fórmula 46. Ley μ (De 15 segmentos).	126



INTRODUCCIÓN

Las organizaciones oficiales y particulares de interés comercial, administrativo, industrial, o todo aquel campo de desarrollo; en el cual la materia prima fundamental es la información que se genera y fluye en el ámbito de su Red de Telecomunicaciones, actualmente enfrentan uno de sus retos más significantes; al momento de realizar el manejo de su información de una manera segura, estable y siempre disponible.

Entendiendo que la estructura de la red, es constituida por elementos que le son propios y con secciones de respaldo de redes, que le dan servicio a grandes estructuras especializadas; donde la velocidad de transmisión, la estructura de la señal, la amplitud de cobertura de la red, la complejidad de las aplicaciones, el control y la seguridad, entre otras, son muy significantes, todo ello, para crear estructuras muy robustas, eficientes y tan dinámicas; en las cuales, por sus puertos de entrada y salida se presenta un flujo de datos.

La tecnología actual avanza día con día de acuerdo a las necesidades con que se va enfrentando el hombre en su vida cotidiana, este es el caso de las Telecomunicaciones en general y específicamente en las comunicaciones vía fibra óptica. Es por ello que los sistemas de fibra óptica han tenido gran auge en las últimas décadas, ya que en comparación con otros sistemas de comunicación, poseen un gran número de ventajas debidas a las características de la fibra, como baja atenuación, aislamiento eléctrico, gran ancho de banda, alta velocidad de transmisión, seguridad y creación de sistemas compactos, por citar algunos.

La Fibra Óptica es un ingenio del hombre, el cual, aprovechando los recursos existentes en la naturaleza; en este caso el vidrio, se dio a la tarea de fabricar un elemento que sirviera como Medio de Transmisión; por el cual se puede propagar un haz de luz. Dicho medio de transmisión debía tener ciertas características, tanto físicas como químicas. Características que además de diferenciarlo de los demás medios; también proporcionarán mayores y mejores ventajas.

Los crecientes volúmenes de información que se cursan mediante voz, imágenes, archivos de datos pesados, videoconferencias y grandes variedades de señales de audio entre otras muchas aplicaciones, exige de grandes recursos en las redes de datos por la cuales viajan, haciéndose muy necesario grandes anchos de banda y redundancias en los equipos que las componen. De este principio nace el concepto de backbone o Red de Transporte de información.

En materia de redes de transporte ha habido una constante evolución determinada en gran parte por una carrera en aumentar el recurso de ancho de banda disponible. Otros aspectos que han liderado este vertiginoso avance han sido el tipo de tecnología, nivel de sincronismo, detección y corrección de errores, estabilidad y direccionamiento de cada una de las soluciones que existen en el mercado. El resultado de este crecimiento es que ahora se dispone de una alta gama de posibilidades a considerar entre las cuales se encuentran las redes Gigabit Ethernet, PDH, SDH, ATM y RDSI.



Las redes de transporte de información son hoy en día redes multiservicio con la capacidad de integrar tráfico de datos y de aplicaciones en tiempo real. Estas redes de transporte ya no son un tema del que puedan hablar solamente los proveedores de servicios, sino que existen necesidades del sector empresarial o académico que pueden ser cubiertas por medio del diseño de una Red.

Esta tesis se expone en siete capítulos. El primer capítulo además de contener los Antecedentes de la Fibra Óptica; se enfoca a conceptos básicos de ayuda para entender el funcionamiento de la fibra. En este se abordan conceptos relacionados con la propagación de la luz en fibras ópticas, esto es, se hace una revisión de la óptica geométrica; así como también de su estructura física y los parámetros que la caracterizan.

Se aborda la Teoría Modal y los tipos de Fibra Óptica, como son las fibras multimodo y monomodo, esto para tener un mejor conocimiento de las características de cada una de ellas, así como de la forma en que viaja la luz a través de ellas. Y por último se señalan los principales problemas que causan atenuación en las señales.

En el segundo capítulo se presentan los cables de Fibra Óptica, comenzando por los principios químicos del conductor y los distintos perfiles de índice existentes. Se señalan los parámetros de los conductores y sus métodos de medición (mediciones de laboratorio).

Se expone el tema de la fabricación de cables; así como la variedad de conductores existentes; como son: los Conductores Huecos, Conductores por Grupos, Conductores Macizos y los Conductores Compactos; así como la configuración de cada uno de estos. Por último se señalan dos elementos importantes en los cables de fibra óptica, que son los empalmes y conectores, donde se explicara su función y características de cada uno de ellos.

En el tercer capítulo se aborda el tema del Estándar IEEE 802.3, comenzando por sus características y su relación con los Modelos TCP/IP y OSI; analizando cada una de sus capas y las características de cada una de ellas. Si dejar a un lado la importancia de la estructura de una Trama, para la transmisión de paquetes.

En el cuarto capítulo se desarrollara el tema de sistemas de transmisión ópticos, y todos los elementos que lo componen; además de exponer el tipo de señales que se pueden transmitir por el Medio de Transmisión. Por ello la relevancia del estudio de la conversión de señales analógicas en digitales y posteriormente la transmisión de ellas. Para continuar con la importancia de la Teoría del Láser.

El desarrollo del tema de transporte de información se podrá apreciar en el quinto capítulo, con la exposición de las diferentes Tecnologías de Transporte como son: WDM, DWDM, FDDI, ATM; así como PDH y SDH, para con ello explicar la Técnica de Transmisión Digital. Se explican las características y funcionamiento de cada una de las Tecnologías, así como sus ventajas y desventajas de la una sobre la otra. Todo esto como base para comprender como funciona una Red de Fibra Óptica.



En el sexto capítulo se analizará una red de fibra óptica, donde se estudia a detalle todos y cada uno de los elementos que la forman; como son: el medio físico, la configuración del tendido, backbone de Redes, disposición de equipos; todo ello con la finalidad de poder realizar un tendido satisfactorio. Por último se presenta la metodología propuesta para el diseño de la Red. Tomando en cuenta las recomendaciones para la implementación y administración de la misma.

En el séptimo capítulo se desarrollará la aplicación de la Fibra Óptica en una Red MAN y WAN. Para ello será necesario exponer el tema de Red Digital de Servicios Integrados. Comenzando con la definición de RDSI, para posteriormente observar como ha sido su evolución. Se analizarán sus ventajas; para con ello tener una justificación de porque muchos países cuentan ya con este sistema. Se examinarán también los tipos de acceso y sus respectivas interfaces. Y por último se presenta el tema de las Redes de Próxima Generación, donde podremos observar, como en la actualidad TCP/IP, Gigabit Ethernet, ATM, SDH, SONET y DWDM se entremezclan en una nueva generación de nodos que integran acceso, enrutamiento, multiplexación y conmutación para crear redes flexibles y de Multiservicio.

CAPITULO I

“ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FIBRA ÓPTICA”



... La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.
ARISTOTELES.



1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA FIBRA ÓPTICA.

Los sistemas ópticos de comunicación, existen desde hace 2 siglos, el "Telégrafo Óptico" fue inventado por el Ing. francés Claude Chappe en 1790, Su sistema consistía de una serie de semáforos montados en torres en los que un operador transmitía mensajes de una torre a otra.

Por los años 40 del siglo 19, el físico suizo Daniel Collodon y el físico francés Jacques Babinet, demostraron que la luz podía guiarse a lo largo de los chorros de agua de una fuente. Pero fue el físico británico, John Tyndall, quien popularizó la guía de luz en base a chorros de agua, en una demostración realizada por primera vez en 1854, demostró que la luz podía ser guiada usando un chorro de agua fluyendo desde un tanque.

En 1880, Alejandro Graham Bell habló de la posibilidad de transmitir señales usando un haz de luz. En 1884 patentó un Sistema de Teléfono Óptico, al cual lo llamó el "Photophone", logrando transmitir a 200 m; pero su primer invento el "Teléfono" fue el más práctico y popular.

A inicios del siglo 20, los investigadores demostraron que una varilla de cuarzo doblada, podía transportar luz, y la utilizaron como iluminadores dentales. Por los años 40s, muchos doctores usaban ya depresores de lengua de plexiglass iluminado.

En 1951, Holger Moller Hansen, presentó en la oficina de patentes danesa, un estudio de la Fibra Óptica pero, la oficina negó su aplicación, ya que no logró el interés de las compañías con su invento.

En 1958, aparece un método para producir radiaciones electromagnéticas en las longitudes de onda del espectro visible usando los estados energéticos de los átomos para producir, mediante cambios simultáneos de sus niveles, radiaciones electromagnéticas controladas, el aparato utilizado se llamó LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), con su invención y construcción en la década de los 60 vuelve a tomar idea la posibilidad de utilizar la luz como soporte de comunicaciones fiables y de alto potencial de información, esto debido a su elevada frecuencia portadora (10¹⁴ Hz). Iniciándose de esta manera los estudios básicos sobre modulación y detección óptica.

Sin embargo, una limitante era la carencia o no desarrollo del medio de transmisión apropiado ó los suficientes canales ópticos para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas.

Fue entonces cuando científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. Decidiendo en 1966 la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

El 1 de Abril de 1966 el Instituto de Ingeniería Electrónica IEE publicó la propuesta notable de Kao con estas palabras: "En el encuentro IEE en Londres el mes pasado, el Dr. C.K. Kao observó que a cortas distancias, se ha demostrado que las guías de ondas ópticas



experimentales, desarrollados por los laboratorios de la Standard Telecommunications tiene una capacidad de información de un gigaciclo, o equivalente a alrededor de 200 canales de televisión o más que 200,000 líneas telefónicas”. Él describió el dispositivo de STL, como sigue: “un núcleo de vidrio aproximadamente de tres o cuatro micras en diámetro, revestido con una capa coaxial de otro vidrio que tiene un índice refractivo aproximadamente de uno por ciento menor que el núcleo. El diámetro total de la guía de onda está entre 300 y 400 micras. Ondas ópticas superficiales se propagan a lo largo de la interface entre los dos tipos de vidrio”.

En 1966 se tienen las primeras fibras ópticas experimentales con atenuaciones de 1000 dB / Km, que permitieron acercar los porcentajes de canales de T.V y de líneas telefónicas como pretendía la teoría; a partir de esta fecha empiezan a producirse eventos que darán como resultado final la implantación y utilización cada vez mayor de la Fibra Óptica como alternativa a los cables de cobre.

- ↪ En 1970, se disminuyen las atenuaciones a 20 dB/Km. En el mismo año de 1970, el laboratorio Bell y un equipo en el Instituto Físico Ioffe en Leningrad (ahora San Petersburgo), fabricaron los primeros diodos láser capaz de emitir ondas continuas a la temperatura ambiente.
- ↪ 1972, Fibra Óptica con núcleo líquido con atenuación 8 dB/km. Y en 1973, Corning obtiene Fibra Óptica de SiO₂ de alta pureza con atenuación 4 dB/km y deja obsoletas a las de núcleo líquido.
- ↪ Un hito que es importante señalar es el logrado por MacChesney y sus colegas en los Laboratorios de Bell que consiguieron en 1974 el proceso químico modificado de deposición de vapor MCVD que hizo posible la fabricación masiva de fibra óptica de alta calidad.
- ↪ 1975, aparecen los primeros proyectos experimentales instalándose de modo creciente a partir de 1980.
- ↪ 1976, se obtiene una Fibra Óptica con atenuación 0.47 dB/km en 1300 nm, muy próximo al límite debido a factores intrínsecos (Rayleigh).
- ↪ La primera generación probada en el campo de la telefonía fue en 1977, se usaron fibras para transmitir luz a 850 nm de los diodos láser de galio-aluminio-arseniuro.
- ↪ 1979, se alcanzan atenuaciones 0.12 dB/km con fibras monomodo en 1550 nm.
- ↪ En 1983, MCI una de las grandes compañías de larga distancia en los Estados Unidos fue la primera en tender una Red Nacional de Fibra Óptica en ese país.
- ↪ La Fibra de dispersión desplazada (DSF), se introdujo en 1985, y anunció una nueva era en las comunicaciones ópticas. Uniendo el mínimo de atenuación en la ventana de



1550 nm con dispersión cero en la misma longitud de onda, mayores velocidades de datos podrían llevarse a distancias mayores. A fines de los años ochenta, los sistemas tendían a operar a mayores longitudes de onda.

- ↪ En 1988, se instaló el primer sistema de fibra óptica entre Francia, Inglaterra y Estados Unidos. Opera a un caudal global de 2×0.28 Gbit/s (dos pares de fibras) y está constituido por un cable submarino de 7,500 kilómetros de longitud, dotado de unos 110 repetidores situados cada 70 kilómetros. La capacidad correspondiente es de 40000 circuitos telefónicos.
- ↪ A inicios de los 90's, con SDH es posible transmitir a velocidades de Gbit/s y con atenuaciones de 0.2 dB/Km.
- ↪ En los primeros años de los 90, aparece la fibra dopada con erbio (EDFA), a esto muchos lo consideran la segunda revolución en la comunicación de la fibra óptica. Esta tecnología no sólo superó la limitación de la velocidad para la regeneración electrónica y permitió tramos más largos, le permitió a WDM ser el método de transmisión dominante de hoy.
- ↪ En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

2.1. ÓPTICA GEOMÉTRICA.

La óptica es la parte de la física que estudia las propiedades de la luz. Si sólo se tienen en cuenta las trayectorias seguidas por la luz (los rayos), sin considerar la naturaleza física de las ondas electromagnéticas, entonces su estudio pertenece al campo de la óptica geométrica.

En primer lugar, la propagación de la luz en una fibra óptica puede analizarse mediante el empleo de las leyes de la óptica geométrica. Esta primera aproximación permite definir simplemente una característica importante de la fibra óptica: que es: la *apertura numérica*. La luz se compone de ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío a una velocidad v del orden de los 300000 Km/s. Estas ondas transportan energía y se caracterizan por sus frecuencias de oscilación f , así mismo, pueden determinarse por medio de otro parámetro: la *longitud de onda* λ .



2.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Lo que llamamos luz es solo una pequeña parte del espectro de la radiación electromagnética. La radiación electromagnética puede ordenarse en un espectro que va desde las ondas de frecuencia sumamente alta y *longitud de onda* larga.

La diferencia de las radiaciones en las diferentes partes del espectro electromagnético es una cantidad que puede ser medida de varias maneras: Como una longitud de onda, como la energía de un fotón, o como la frecuencia de oscilación de un campo electromagnético.

En un extremo del espectro se ubican las ondas de radio con billones de longitudes de onda más largos que aquellos de la luz visible. En el otro extremo del espectro están los rayos gamma que tienen millones de longitudes de onda más pequeño que aquellos de la luz visible.

La luz es una onda electromagnética, y por ende dicha onda puede oscilar en diferentes frecuencias, precisamente esta define el “color”.

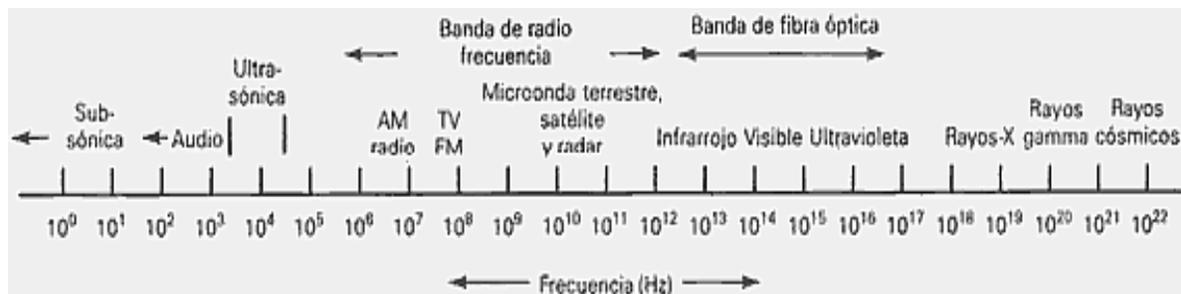


Figura I.1a Espectro Electromagnético (Frecuencia).

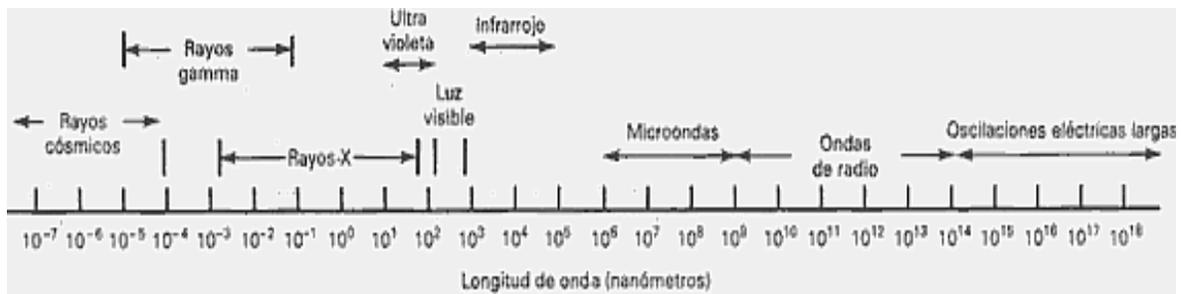


Figura I.1b Espectro Electromagnético (Longitud de Onda).

La luz tiene propiedades generales, que son:

- La luz puede viajar en el vacío, no así el resto de las ondas que necesitan de un medio material para hacerlo.
- La velocidad de la luz es constante en el vacío, esto incluye a cualquier frecuencia de la misma, esto es 300000 Km/s en el vacío (C).



- c) La luz blanca está compuesta por todas las longitudes de onda, la cual al pasar por un prisma (medio óptico) se difracta en diferentes ángulos según su longitud de onda descomponiéndose así en colores.

Color	Longitud de Onda λ	Frecuencia en Hz
Rojo	750 nm	$4 \cdot 10^{14}$
Naranja	620 nm	$4.8 \cdot 10^{14}$
Amarillo	580 nm	$5.1 \cdot 10^{14}$
Verde	550 nm	$5.4 \cdot 10^{14}$
Azul	490 nm	$6.1 \cdot 10^{14}$
Índigo	450 nm	$6.6 \cdot 10^{14}$
Violeta	380 nm	$7.8 \cdot 10^{14}$

Tabla I.1 Correspondencia entre Longitud-Frecuencia.

Para el estudio de la fibra óptica, es de sumo interés solo una parte del espectro electromagnético, la región óptica, donde la fibra óptica y los elementos ópticos operan. Esta región incluye la luz visible al ojo humano que va desde las longitudes de onda de los 400 a 700 nm que están cercanos a la zona infrarroja y ultravioleta y que tienen propiedades similares; es decir, con longitudes de onda que van desde los 200 a 20000 nm.

Las fibras ópticas de silicio en comunicaciones utilizan longitudes de onda comprendidas normalmente entre los 700 a 1600 nm. Las fibras de silicio y vidrio pueden transmitir la luz visible sobre distancias cortas, siendo la fibra de cuarzo la que transmite luz cercana al ultravioleta sobre distancias cortas.

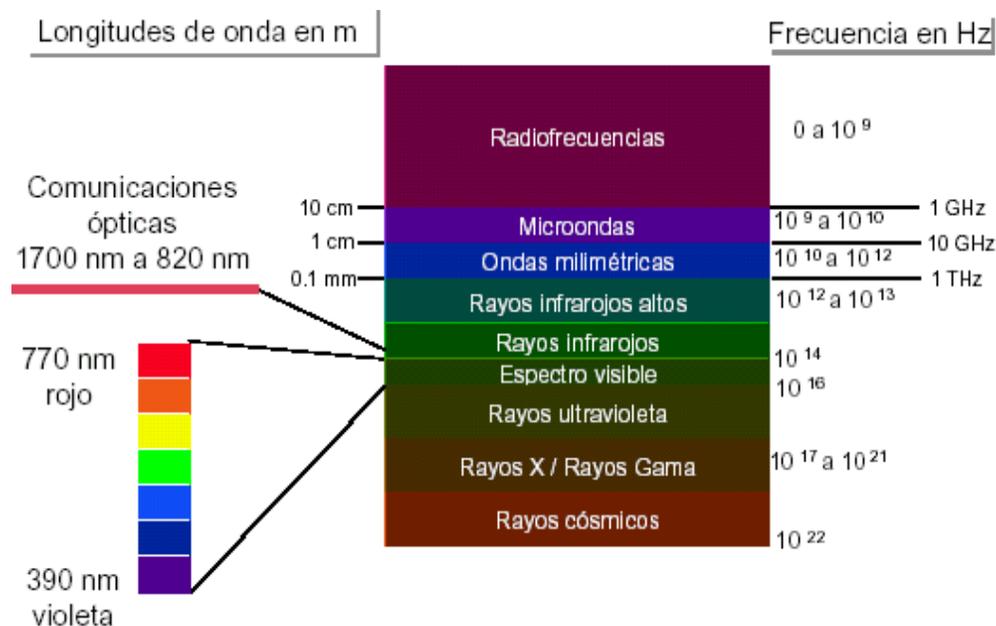


Figura I.2. Región Óptica.



Las fibras plásticas típicas transmiten mejor una longitud de onda visible que al infrarrojo cercano, por lo que las comunicaciones sobre las fibras plásticas es con luz visible. Sin embargo la fibra de plástico no es tan transparente como el vidrio de silicio. Las fibras pueden ser fabricadas con otros materiales diferentes al silicio de tal manera que pueden transmitir longitudes de onda mayores que el infrarrojo.

2.1.2. LONGITUD DE ONDA.

El término **Onda** se emplea para describir una perturbación o disturbio que se genera por alguna manifestación de energía y que se propaga o se transmite desde un punto de un medio a otros puntos sin que dicho medio, como conjunto, se produzca ningún desplazamiento.

Características de una Onda.

- ↪ **Amplitud:** Es el desplazamiento máximo que produce el disturbio a partir del equilibrio en el medio.
- ↪ **Frecuencia:** Es el número de oscilaciones completas o ciclos que realiza un punto del medio en que se propaga la onda en la unidad de tiempo.
- ↪ **Cresta:** Es la altura máxima que alcanza la onda en sentido positivo.
- ↪ **Valle:** Es la parte más baja que alcanza la onda en sentido negativo.
- ↪ **Período:** Es el tiempo en el que un punto del medio realiza una oscilación completa o un ciclo.
- ↪ **Longitud de Onda λ :** Es la distancia entre dos puntos sucesivos de la onda y que están en fase.
- ↪ **Fase:** Es el ángulo que forma un punto cualquiera de la onda con respecto a su origen.

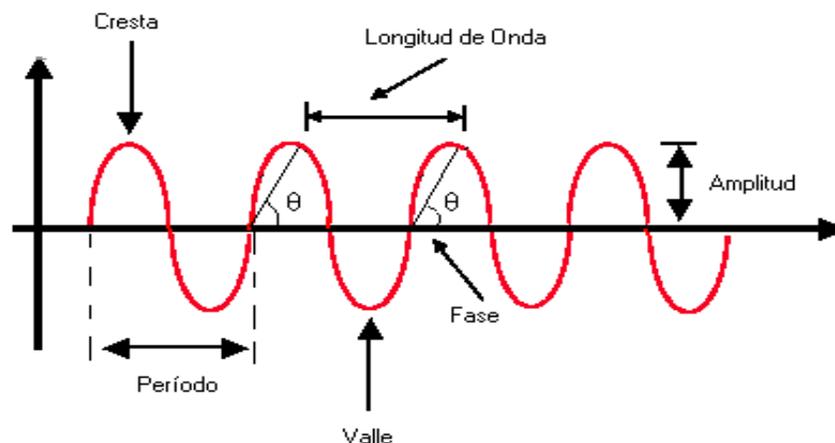


Figura I.3 La luz es una onda electromagnética que se desplaza mediante fotones.



2.1.3. ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

Se define el índice de refracción (η) de un medio, como la relación existente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio.

$$\eta = \frac{C}{v} \geq 1 \quad \dots (1)$$

Cuando η es más cercano a 1, mayor es la velocidad y más transparente es el medio. El índice de refracción del vacío, constituye una constante y es igual a la unidad.

Como cociente de velocidades, el índice de refracción es una cantidad sin unidades. Los índices de refracción de varios medios aparecen en la tabla I.2

Medio	η
Aire	1.003
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.36
Cuarzo fundido	1.46
Glicerina	1.47
Poliestireno	1.49
Aceite	1.50
Vidrio (dependiendo del tipo)	1.45 – 1.70
Vidrio crown	1.52
Cristal de roca	1.66
Circonio	1.92
Diamante	2.42

Tabla I.2 Índices típicos de refracción.

2.2. REFLEXIÓN.

Se define la reflexión de una onda lumínica que se propaga por un medio isotrópico como el cambio de dirección y sentido que sufre la onda lumínica al incidir sobre otro medio con un índice de refracción menor.

La reflexión de la luz es un fenómeno óptico de enorme importancia; si los objetos de un entorno no reflejarán la luz hacia los ojos, no podrían ser vistos. La reflexión implica la absorción y reemisión de la luz por medio de complejas vibraciones electrónicas en los átomos del medio reflejante. Sin embargo, el fenómeno se describe con facilidad mediante rayos.



2.2.1. LEYES DE LA REFLEXIÓN.

Un rayo de luz incidente sobre una superficie queda descrito por un ángulo de incidencia θ_i , que se mide con respecto a una recta perpendicular a la superficie reflejante, y que se conoce, por lo general, como normal (figura I.4). De manera análoga, el rayo reflejado queda descrito mediante un ángulo de reflexión θ_r . La relación entre estos ángulos está dada por la ley de reflexión.

$$\theta_i = \theta_r$$

... (2)

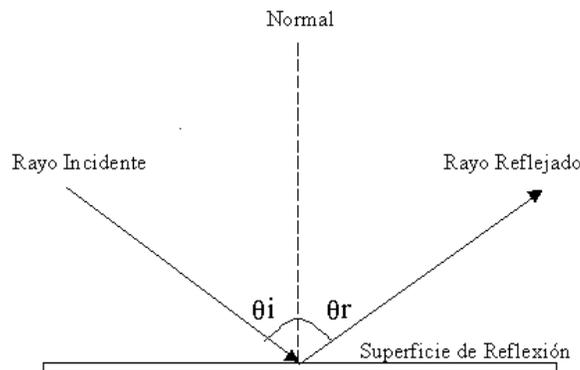


Figura I.4 Ley de la Reflexión.

De lo anterior se concluye que:

- ↳ Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los medios son iguales.
- ↳ El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal, están contenidas en el mismo plano.

2.2.2. ÁNGULO CRÍTICO DE REFLEXIÓN.

Se define el ángulo crítico de reflexión como el mínimo valor necesario del ángulo de incidencia, para que se produzca la reflexión del rayo incidente.

Para los rayos con ángulos de incidencia inferiores al ángulo límite, se producirá la refracción del rayo incidente en el medio que presente un valor del índice de refracción menor.

El ángulo límite, es función de los índices de refracción de los medios en contacto.

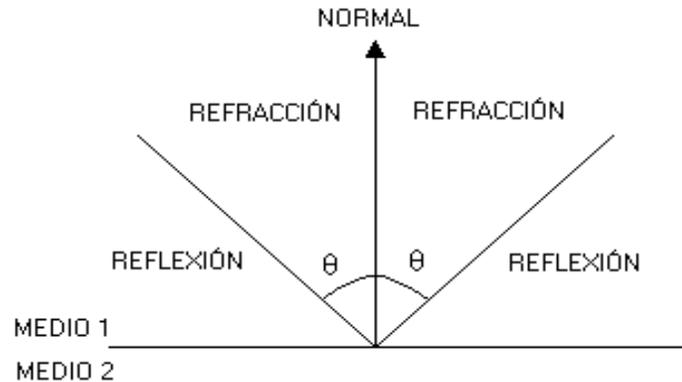


Figura I.5 Zonas de reflexión y refracción.

La zona de refracción es la delimitada entre la normal y el ángulo límite de reflexión, mientras que la zona de reflexión es la delimitada entre la superficie de contacto de ambos medios y el ángulo límite de reflexión.

2.3. REFRACCIÓN.

La refracción se refiere al cambio de dirección de una onda en una frontera en la que pasa de un medio a otro. En general, cuando un rayo incide en una frontera entre medios, parte de su energía es reflejada y parte es transmitida. Por ejemplo, cuando una luz que viaja en el aire incide en un material transparente, como el vidrio, se refleja y se transmite parcialmente. Pero la dirección de propagación de la luz transmitida es diferente de la dirección de la luz incidente, y se dice que la luz se ha refractado, o desviado.

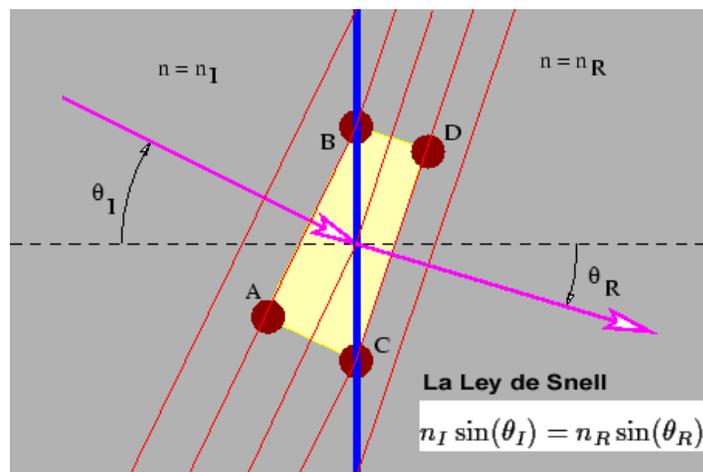


Figura I.6 Efecto de refracción.

Es decir, se define la refracción de una onda lumínica que se propaga por un medio isotrópico como el cambio de velocidad, dirección y sentido que experimenta la onda lumínica, al incidir sobre otro medio isotrópico. La propagación de la onda lumínica prosigue por el segundo medio.



2.3.1. LEY DE SNELL O LEY DE LA REFRACCIÓN.

Cuando un rayo de luz incide en una superficie plana que separa dos medios como en la figura I.6 (donde la recta vertical representa dicha superficie). Al cambiar del medio I, el rayo cambia de dirección: se refracta en el medio R. Cada uno de los medios de propagación está caracterizado por un parámetro: el índice de refracción (η). La trayectoria del rayo refractado sigue dos sencillas leyes:

- ↪ La primera es que dicho rayo se encuentra en el plano del rayo incidente y la normal que pasa por el punto de incidencia. En otras palabras, si el rayo incidente y la normal están en el plano de la hoja, también el rayo refractado debe estar en este plano.
- ↪ La segunda ley, es la denominada Ley de Snell y viene dada por la siguiente ecuación:

$$\boxed{\eta_I \text{sen} \theta_I = \eta_R \text{sen} \theta_R} \quad \dots (3)$$

Donde:

- $\eta_I = \eta_1$ Índice de refracción del primer medio, o medio de incidencia.
- $\eta_R = \eta_2$ Índice de refracción del segundo medio, o medio de refracción.
- $\theta_I = \theta_1$ Ángulo del rayo incidente.
- $\theta_R = \theta_2$ Ángulo del rayo refractado.

La ley de Snell explica como un rayo de luz se curva cuando atraviesa una discontinuidad de índice de refracción.

Los casos a considerar, dependiendo de las magnitudes relativas de los índices de refracción y del ángulo de incidencia, son las siguientes:

- A) **Primer Caso:** Cuando $\eta_1 < \eta_2$, se tendrá que $\theta_i > \theta_t$, el rayo refractado se acerca a la normal del plano de separación de los dos medios.
- B) **Segundo Caso:** Cuando $\eta_1 > \eta_2$ entonces $\theta_t > \theta_i$, el rayo refractado se acerca al plano de separación.

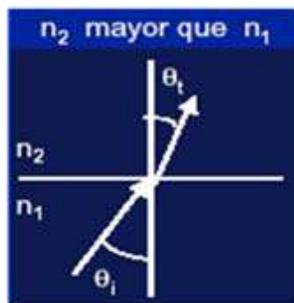


Figura I.7a Se presenta la Refracción
Con $\theta_i > \theta_t$

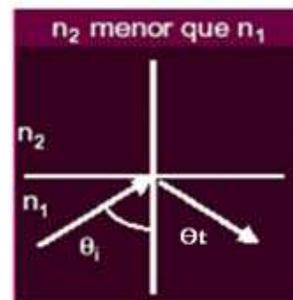


Figura I.7b Se presenta la Reflexión
Con $\theta_t > \theta_i$

2.3.2. ÁNGULO INCIDENTAL CRÍTICO.

Suponiendo que $n_1 > n_2$ y si aumentamos gradualmente θ_i pasando este por posiciones sucesivas. También aumentará el valor de θ_t . Los casos a considerar son:

- A) Cuando $n_1 > n_2$ y $\theta_t < 90^\circ$, el rayo incidente es refractado; figura I.8a.
- B) Cuando $n_1 > n_2$ y $\theta_t > 90^\circ$, el rayo incidente es reflejado; figura I.8b.
- C) Cuando $n_1 > n_2$ y $\theta_t = 90^\circ$, el rayo refractado está contenido en el plano de separación de ambos medios; figura I.8c.

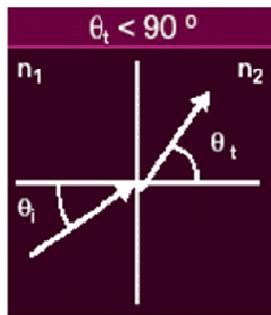


Figura I.8a

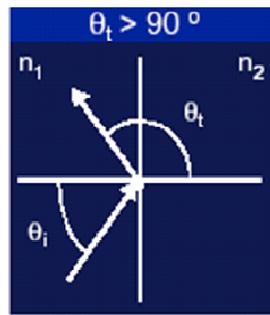


Figura I.8b

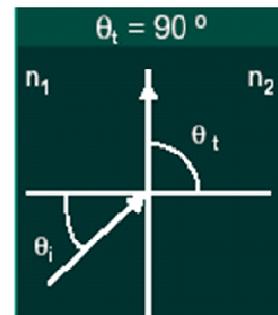


Figura I.8c

A este ángulo se le denomina Ángulo Límite o también Ángulo Incidental Crítico (θ_{ic}), y se define como el ángulo de incidencia para que el rayo refractado pueda propagarse por el plano de separación de ambos medios. Y su cálculo está dado por la ecuación siguiente:

$$\theta_i = \theta_{ic} = \text{Sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad \dots (4)$$

2.3.3. APERTURA NUMÉRICA Y ÁNGULO DE ACEPTACIÓN.

En los cables de fibra óptica se utiliza el efecto de la *reflexión total* para conducir el rayo luminoso en virtud de tener estos cables 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 .

Para que la luz de información pueda entrar al núcleo de la fibra óptica, debe de entrar perpendicularmente al núcleo, ó con un ángulo muy pequeño alrededor del eje axial, para esto se obtiene a través de una constante que es menor que la unidad, llamado A.N. (Apertura Numérica) y no tiene unidades.

Y su expresión matemática es:



$$A.N. = \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad \dots (5)$$

El máximo ángulo de acoplamiento θ_{\max} se denomina *ángulo de aceptación* del conductor de fibra óptica y es únicamente función de los índices de refracción η_1 y η_2 . Al seno del ángulo de aceptación se le denomina *apertura numérica* (AN) del conductor de fibra óptica:

$$\text{Sen} \theta_{\max} = A.N. \quad \dots (6)$$

Despejando a θ_{\max}

$$\theta = \text{Sen}^{-1} A.N. \quad \dots (7)$$

Ambos valores son de gran importancia para el acoplamiento de la luz a la fibra óptica.

2.3.4. REFLEXIÓN TOTAL.

Ya conocidas las tres principales leyes de la Óptica Geométrica, se hará una revisión de la *reflexión total interna*, que es el principio básico de propagación de la luz en una fibra óptica.

Refiriéndose a la situación descrita en la obtención del ángulo incidental crítico, donde el rayo refractado se propaga por el plano de separación de dos medios con índices $\eta_1 > \eta_2$; y donde dicho ángulo se obtiene con la expresión matemática siguiente:

$$\theta_i = \theta_{ic} = \text{Sen}^{-1} \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad \dots (8)$$

Como η_2 es menor que η_1 , la fracción η_2/η_1 es menor que 1 y θ_c es menor que 90° . Considérese que se está tratando aquí con rayos que viajan entre materiales de diferente índice de refracción. Si un rayo incide sobre el límite entre materiales de índices η_1 y η_2 , en el ángulo crítico, el rayo refractado viajará a lo largo del límite, nunca entrará al material con índice η_2 .

Es importante mencionar que para casos en que el rayo incide con un ángulo mayor al ángulo crítico, éste es reflejado. Esto es, el rayo incidente es reflejado cuando $\theta_1 > \theta_c$.

Esta condición es referida como *reflexión total interna*, la cual solo puede ocurrir cuando la luz viaja de un material de alto índice de refracción a uno de más bajo índice.

La luz se propaga en las fibras ópticas bajo esta condición.



3. DEFINICIÓN DE FIBRA ÓPTICA.

Una **fibra óptica** se define como aquella fibra o varilla de vidrio sumamente delgado y flexible (de 2 a 125 micras) con un índice de refracción alto capaz de conducir rayos ópticos (señales en forma de luz).

Una fibra óptica está constituida por dos cilindros concéntricos de materiales dieléctricos (figura I.9). Para que haya una propagación de la luz por reflexiones internas totales, el índice de refracción η_1 del material que constituye el cilindro interior conocido como núcleo (core) debe ser ligeramente superior al índice de refracción del material que rodea al núcleo y que consta de otro cilindro exterior concéntrico de material de índice η_2 conocido como cubierta o vaina (cladding). El perfil del índice puede variar bruscamente en la interfaz núcleo-cubierta (fibra de índice escalonado) o aumentar gradualmente de la cubierta hacia el centro (fibra de índice gradual).

Finalmente se tiene un recubrimiento que típicamente es un polímero conocido como cable. Un cable de fibra óptica o cable óptico puede contener una sola o muchas fibras. El cable óptico debe asegurar un medio ambiente adecuado para las fibras y facilitar su manejo; por lo menos, de manera tan fácil como la de los cables metálicos clásicos.

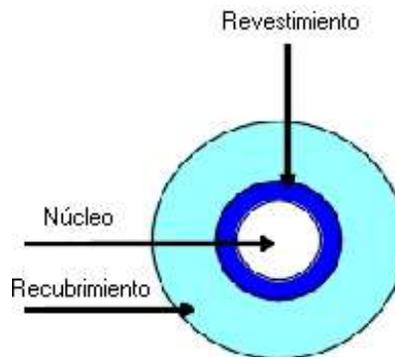


Figura I.9 Vista Transversal de la Fibra Óptica.

Posee capacidades de transmisión enormes y tiene una transmisión con muy pocas pérdidas en su interior aunque la fibra encuentre las curvaturas que le son permitidas, puede decirse que la invención del láser en los años 60 inicio el desarrollo tecnológico significativo de la Fibra Óptica.

La fibra ideal no existe y sin embargo la tecnología de fabricación; tiende a optimizar todas estas características. Según la utilización que se haga de la fibra, algunas de estas características tienen mayor o menor importancia.

3.1. VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.

Como algunas de las ventajas principales se pueden enlistar las siguientes:



Ancho de Banda: La capacidad potencial de transportar información crece con el ancho de banda del medio de transmisión y con la frecuencia de la portadora. Las fibras ópticas tienen un ancho de banda del orden de los THz.

Bajas Pérdidas: Las pérdidas indican la distancia a la cual la información puede ser enviada. En un cable de cobre, la atenuación crece con la frecuencia de modulación. En una fibra óptica, las pérdidas son las mismas para cualquier frecuencia de la señal hasta muy altas frecuencias.

Inmunidad Electromagnética: La fibra no irradia ni es sensible a las radiaciones electromagnéticas, ello las hace un medio de transmisión ideal cuando el problema a considerar son las Radiaciones Electromagnéticas.

Seguridad: Es extremadamente difícil intervenir una fibra, y virtualmente imposible hacer la intervención indetectable, por ello es altamente utilizada en aplicaciones militares.

Bajo Peso: Un cable de fibra óptica pesa considerablemente menos que un conductor de cobre. Por ejemplo un kilómetro de fibra óptica monomodo pesa 2.09 kilogramos.

Instalación: La fibra óptica es fácil de instalar, además de su compatibilidad con la tecnología digital.

Fabricación: Para su fabricación en plástico y cristal no hay limitantes; por lo que son fáciles de conseguir en el mercado.

Confiabilidad: La Fibra es una tecnología probada, sencilla sumamente estandarizada y de altísima confiabilidad.

4. ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA.

Las fibras ópticas, desde el punto de vista de su estructura constructiva, están constituidas geoméricamente, por tres capas concéntricas siguientes:

1. Núcleo.
2. Revestimiento.
3. Recubrimiento.

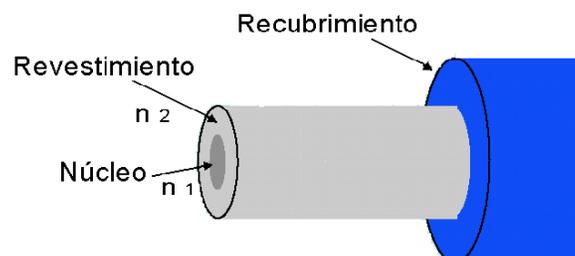


Figura I.10 Estructura de la Fibra Óptica.



4.1. NÚCLEO DE LA FIBRA ÓPTICA.

El núcleo es la zona interior de la fibra óptica y es la zona donde se produce la propagación de la onda lumínica.

Esta propagación se produce porque el valor del índice de refracción del núcleo de la fibra óptica es mayor que el del revestimiento, con lo que los modos que conforman el Haz Lumínico se propagan en su interior de dos formas diferenciadas.

La primera forma de propagación consiste en una serie de reflexiones sucesivas en la zona fronteriza entre núcleo y revestimiento, motivadas por la diferencia entre los valores de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento.

La segunda forma de propagación consiste en una serie de continuas refracciones en el interior del núcleo a lo largo de su sección.

La trayectoria descrita por la onda lumínica en su propagación depende de la distribución de los índices de refracción a lo largo de las secciones de núcleo y revestimiento o perfil de la fibra óptica.

Los materiales utilizados para la fabricación del núcleo de la fibra óptica son sustancias isotrópicas y ópticamente transparentes.

La C.C.I.T.T. define el núcleo de una fibra óptica como la región central de la misma a través de la cual se transmite la mayor parte de la potencia óptica.

La superficie del núcleo, es la superficie de menor sección transversal de una fibra óptica, excluida toda depresión en el índice, comprendida en el lugar geométrico de los puntos en los que el índice de refracción N_x , viene dado por la expresión:

$$N_x = N_c + K(N_B - N_c) \quad \dots (9)$$

Donde:

N_c es el Índice de Refracción del Revestimiento.

N_B es el Máximo valor del índice de Refracción del Núcleo de la Fibra.

K es una Constante, $K = 0.05$.

4.2. REVESTIMIENTO DE LA FIBRA ÓPTICA.

El revestimiento de la fibra óptica es la capa central concéntrica con el núcleo y el recubrimiento.

Es la zona en contacto con el núcleo y en la que se produce la reflexión de la onda lumínica, dado que el valor del índice de refracción del revestimiento de la fibra óptica es menor que el del núcleo.



Los materiales utilizados para la fabricación del Revestimiento de la fibra óptica son sustancias isotrópicas y ópticamente transparentes.

4.3. RECUBRIMIENTO PRIMARIO DE LA FIBRA ÓPTICA.

El recubrimiento primario de la fibra óptica es la capa exterior de la fibra óptica, concéntrica con las dos anteriores.

Es la zona en contacto con el revestimiento y en la que se produce la reflexión de cualquier haz lumínico externo, con lo que se impide su entrada al interior de la fibra óptica. La reflexión de cualquier haz lumínico externo se produce porque el valor del índice de refracción del recubrimiento primario de la fibra óptica es siempre mayor que el del revestimiento.

Cumple una función de protección mecánica del conductor de fibra óptica, dándole una mayor solidez y evita la formación de microcurvaturas en el núcleo de la fibra óptica.

El recubrimiento primario de la fibra óptica se fabrica con acrilato curado con radiación ultravioleta.

Se aplica en dos capas cada una de las cuales presenta un valor diferente del módulo de Young.

La capa interior es elástica y flexible mientras que la exterior presenta una mayor dureza y rigidez por tratarse del tipo de construcción idónea que logra conjugar el efecto amortiguante que protege a la fibra óptica de las microcurvaturas y la preserva de la abrasión en sus desplazamientos axiales.

4.4. CONDICIONES ENTRE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN.

Las condiciones entre los valores de los índices de refracción que se han de cumplir siempre en cualquier fibra óptica son las siguientes:

- ↪ El valor del índice de refracción del revestimiento ha de ser menor que el valor de los índices de refracción del núcleo y del recubrimiento, para lograr la reflexión por el revestimiento de cualquier haz lumínico externo impidiendo la entrada del mismo al núcleo de la fibra.
- ↪ El valor del índice de refracción del núcleo ha de ser mayor que el del revestimiento y menor que el del recubrimiento para lograr que el haz lumínico se propague por el interior del núcleo de la fibra.

Los valores característicos de los índices de refracción son:



Capa	Índice de Refracción η
Núcleo	1.48
Revestimiento	1.46
Recubrimiento	1.52

Tabla I.3 Índices de Refracción de las Capas Concéntricas.

5. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.

5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Las Fibras Ópticas se pueden clasificar atendiendo a los diferentes parámetros ópticos, geométricos o dinámicos que las definen:

- ↪ Por su aplicación a que se destinen, precisando entonces el uso de fibras de alta o media calidad.
- ↪ Por el perfil del índice de refracción: constante o variable. Entre estos últimos están los de índice gradual, perfil "alfa", doble entalladura, segmentado, entre otros, atendiendo en cada caso a las características de transmisión que se deseen mejorar.
- ↪ Por el número de modos transmitidos: monomodo o multimodo.
- ↪ Por los materiales de núcleo y revestimiento y su composición.

La tabla I.4 muestra la clasificación de las fibras, conforme a lo anterior.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE FIBRA ÓPTICA
POR MATERIALES DIELECTRICOS	FIBRA ÓPTICA DE SILICIO
	FIBRA ÓPTICA DE VIDRIO
	FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA
POR MODO DE PROPAGACIÓN	FIBRA ÓPTICA MONOMODO (SM)
	FIBRA ÓPTICA MULTIMODO (MM)
POR DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN	FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE ESCALONADO
	FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE GRADUAL

Tabla I.4 Clasificación de las fibras ópticas.

Normalmente habrá que atender a varias de éstas características para la elección de la fibra adecuada. Dependiendo del tipo de aplicación a que se destine esta, y siempre en función de su más frecuente uso "las telecomunicaciones"; por ello se pueden considerar 2 grupos de fibras.



- ↪ Fibras de alta calidad para enlaces de telecomunicación.
- ↪ Fibras para enlaces de corta y media distancia.

5.2. PROPAGACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.

La propagación de la luz en una fibra óptica puede ser descrita mediante dos teorías: la teoría de rayos y la teoría modal. La teoría de rayos emplea las leyes de la óptica geométrica; la luz es considerada como un rayo y la propagación se efectúa mediante reflexiones múltiples en trayectorias rectilíneas.

Las leyes de la óptica permiten describir la reflexión total de la luz en la superficie que limita al núcleo del recubrimiento del vidrio en un cable de fibras ópticas. 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 de un cable de fibras ópticas es de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$, o sea que es solamente un poco mayor que la longitud de onda de la luz transmitida por ese núcleo (aprox. $1\ \mu\text{m}$).

De las situaciones anteriores, se tomarán en cuenta los siguientes casos:

- ↪ Primero se debe incidir con cierto ángulo sobre la frontera aire-núcleo para que el haz de luz entre en la fibra.
- ↪ Además, se tiene que hacer incidir ese mismo ángulo en la frontera núcleo-revestimiento para que el haz rebote a lo largo del núcleo.
- ↪ De esta forma es como se obtiene la transmisión de la luz adentro de una fibra óptica.

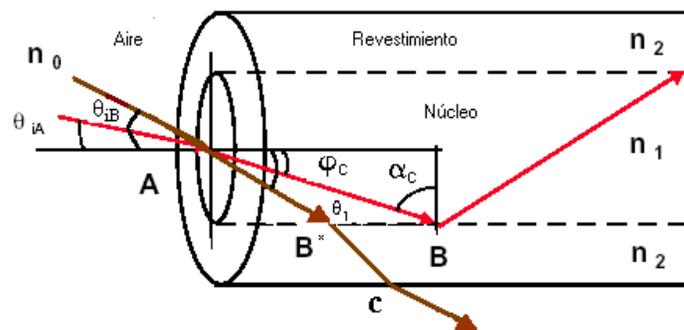


Figura I.11 Propagación de la luz en la fibra óptica.

Recordando que la luz se propaga en las fibras ópticas bajo la condición de la reflexión total. En la figura (I.11) se muestran dos rayos, uno (de color rojo) es inyectado en un ángulo más bajo que el otro (color café). Analizando primero el rayo café, en el punto A, entre el aire y el núcleo, se presenta el fenómeno de refracción, y el rayo continúa en un ángulo más pequeño, cerrándose hacia el eje central de la fibra; esto es, $\theta_{iB} > \theta_{iA}$. El rayo entonces llega a la interfaz núcleo-revestimiento en el punto B. Una vez más, la refracción



toma lugar y el rayo se desvía y continúa en el revestimiento. Finalmente, el rayo se desvía de nuevo en el punto C, en la interfaz revestimiento-aire, pero esta vez saliendo de la fibra. Por lo que se dice que el rayo no fue confinado y por lo tanto no se propaga a través de la fibra.

Ahora, siguiendo el segundo rayo (color rojo). De nuevo, la refracción toma lugar en el punto A. En el punto B*, en la interfaz núcleo-revestimiento, ocurre la reflexión total interna. Este rayo es confinado en el núcleo de la fibra. Por conveniencia se asume que el ángulo de incidencia en la interfaz núcleo-revestimiento es el ángulo crítico (α_c para el caso de la fibra, donde el núcleo tiene un índice de refracción η_1 y el revestimiento η_2). Recordando la ecuación siguiente:

$$\alpha_c = \text{sen}^{-1} \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad \dots (10)$$

Un rayo incidente con un ángulo más grande que α_c se propagará en la fibra.

El rayo crítico (color rojo), en la figura (I.11), hace un ángulo φ_c con el eje central de la fibra. Los rayos con ángulos de propagación más grandes que φ_c no se propagarán. Como se puede ver $\theta_1 > \varphi_c$, y el rayo con el ángulo θ_1 no es confinado en la fibra.

El ángulo φ_c es llamado *ángulo crítico de propagación*. Por geometría:

$$\text{sen } \alpha_c = \cos \varphi_c = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad \dots (11)$$

5.3. MODOS DE PROPAGACIÓN.

Los modos son ondas que se propagan en una fibra óptica y que siempre tienen componentes de campos eléctricos o magnéticos a lo largo del eje de la fibra. Los modos pueden subsistir en distancias que varían desde algunos milímetros hasta varios metros, en función de las fibras.

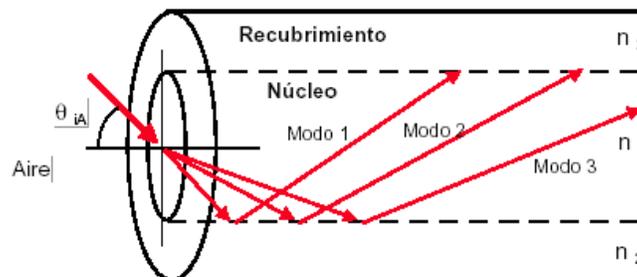


Figura I.12 Modos de Propagación.



Los modos de propagación se pueden considerar como las diferentes trayectorias que puede seguir la luz dentro de la fibra. El número de modos de propagación posibles, depende directamente de las dimensiones de la fibra.

Las fibras se pueden clasificar por sus modos en:

Monomodo (SMF¹): Modo de propagación, o camino del haz luminoso, único.

Multimodo (MMF²): Modo de propagación, o múltiples trayectorias de haces luminosos.

5.4. FIBRAS MONOMODO.

La fibra monomodo es aquella que sólo permite la propagación de un único modo o rayo (fundamental), el cual se propaga directamente sin reflexión y a una longitud de onda determinada. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado. Se utiliza en grandes distancias, superiores a 10 Km.

En este tipo de fibra óptica, el diámetro es muy pequeño y con un índice de refracción uniforme.

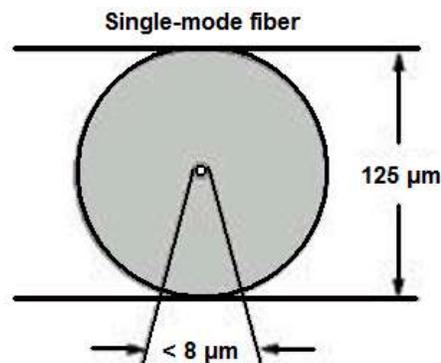


Figura I.13 Diámetro del Núcleo de una Fibra Monomodo.

Se dice que una fibra es **monomodo** cuando cumple ciertas condiciones. Actualmente, lo que significa es que la fibra trabaja con un solo modo, el cual no depende de su forma o del material.

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Las mayores velocidades de transmisión se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar.

¹ SMF: Fibra Monomodo (Single-Mode Fiber).

² MMF: Fibra Multimodo (Multimode Fiber).

5.4.1. CONDICIÓN DE PROPAGACIÓN DE UN SOLO MODO.

La figura (I.14) muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de monomodo. Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten; es decir, de unos 5 a 8 μm .

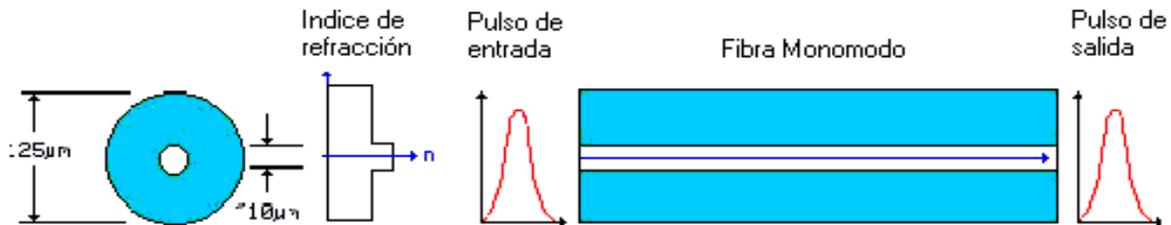


Figura I.14 Fibra Monomodo.

5.4.2. DISPERSIÓN EN LA FIBRA MONOMODO.

La ventaja de la **fibra monomodo** consiste en su mayor ancho de banda, ya que en ella solo hay un único modo y por lo tanto desaparece la **dispersión modal**, quedando únicamente la **dispersión cromática**. Esta ventaja se aprecia especialmente cuando también se puede mantener pequeña la dispersión del material (**dispersión intramodal**). En la realidad la dispersión del material decrece con longitudes de onda mayores y alcanza su mínimo con una longitud de onda alrededor de los 1300 nm, siendo entonces solamente un resultado de segundo orden y obteniéndose ensanchamientos del impulso de solamente $0.025 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$.

5.4.3. DISPERSIÓN MODAL.

Cuando se propagan múltiples modos de luz a través de la fibra, estos pueden recorrer diferentes distancias, según su ángulo de entrada. Como resultado, no llegan a su destino simultáneamente; a este fenómeno se le denomina **dispersión modal**.

Componente principal en las fibras multimodo. Debida a la propagación de varios modos de la onda electromagnética.

5.4.4. DISPERSIÓN INTRAMODAL.

Componente principal en las fibras monomodo, también llamada cromática dado que las fuentes no emiten una sola frecuencia sino una banda.

↪ Se debe a la dependencia del índice de refracción en función de la longitud de onda.



- ↪ Como el haz de luz está compuesto por varias longitudes de onda, la luz se refracta diferente y sigue diferentes trayectorias por la fibra causando la dispersión.
- ↪ En las fibras multimodo no importa mucho pues es mayor la dispersión modal. En las fibras monomodo si se debe de considerar.
- ↪ Es por eso que en estas últimas se emplean preferentemente fuentes Láser que tienen un ancho espectral mucho menor.

Las fibras ópticas monomodo tienen un coeficiente de dispersión cromática máximo de 3.5ps / (nm * Km) en (1285 a 1330 nm), de 6 en (1270 a 1340 nm) y de 20 a 1550 nm.

5.4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA MONOMODO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No se presenta Dispersión Modal, solo Cromática.	Su fabricación es difícil.
Es el tipo de fibra que ofrece mejores perspectivas de cara a las aplicaciones futuras.	Tiene estrictos requerimientos para los conectores.
Aplicaciones en redes de larga distancia y de gran capacidad.	Tiene un mayor costo.
Gran ancho de banda.	Utiliza dispositivos de alto costo
Alta velocidad de transmisión.	(LÁSER).

Tabla I.5 Ventajas y Desventajas de la Fibra Monomodo.

5.5. FIBRAS MULTIMODO.

El término multimodo indica que pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al de las fibras monomodo.

Una fibra multimodo tiene un núcleo con diámetro e índices de refracción mayores a los de una fibra monomodo.

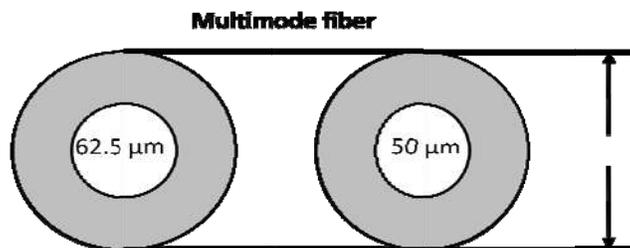


Figura I.15 Diámetro de una Fibra Multimodo.

Cuando se trabaja en multimodo habrá muchos rayos de luz diferentes, cada uno de ellos viajando con un ángulo de reflexión distinto pero siempre menores que el ángulo crítico, viajando a lo largo del núcleo.

Las fibras multimodo a su vez se clasifican por el perfil de índice que presentan: *fibras de índice escalonado* y *fibras de índice gradual*. Las fibras de índice escalonado tienen un índice de refracción constante en el núcleo, es decir, su perfil de índice es de forma escalonada. Por otro lado, las de índice gradual tienen un índice de refracción que va variando gradualmente hasta ser máximo en el centro del núcleo.

5.5.1. PERFILES DE ÍNDICE.

La dispersión nodal en una fibra óptica típica, se debe a la diferencia entre los tiempos de recorrido de los diferentes modos que se propagan en la fibra. Con el fin de igualar los tiempos de recorrido de los diferentes modos se utilizan fibras para las cuales el índice de refracción del núcleo n_1 no es el mismo en todo el núcleo, sino que disminuye gradualmente del centro del núcleo hacia la cubierta. La variación del índice con respecto a la distancia se le conoce como *perfil del índice*.

5.5.2. FIBRAS DE ÍNDICE ESCALONADO.

Para que la luz sea conducida en el núcleo de una 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 ambos. Si el valor del índice de refracción n_1 se mantiene constante en 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 este tipo de fibras ópticas, el valor del índice de refracción del núcleo permanece constante, presenta una sección recta, de manera que el valor del índice de refracción a lo largo de toda la sección del núcleo de la fibra óptica es máximo.

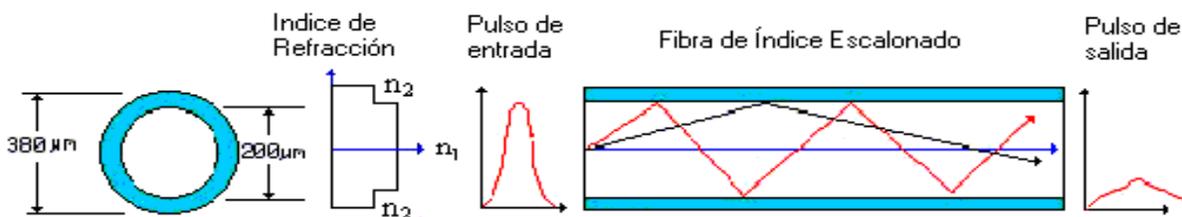


Figura I.16 Fibra Óptica Multimodo de Índice Escalonado.



5.5.3. PROPAGACIÓN EN UNA FIBRA DE INDICE ESCALONADO.

Un impulso luminoso que se propaga en esta fibra está formado por múltiples impulsos luminosos parciales que son conducidos en cada uno de los modos del conductor.

En el extremo inicial de la fibra, cada uno de estos modos es inducido con un ángulo de acoplamiento diferente y conducido dentro del núcleo con otra trayectoria óptica. En consecuencia, cada modo recorre un camino diferente y llega al otro extremo de la fibra en distintos tiempos.

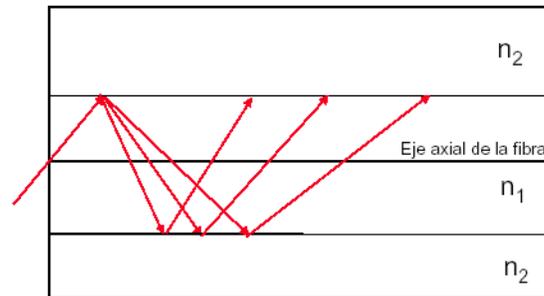


Figura I.17 Funcionamiento de Índice Escalonado.

La distorsión producida en los distintos modos por estas diferencias de tiempos se denomina *dispersión modal* y da lugar a que se ensanche el pulso luminoso de corta duración que atraviesa la fibra óptica con perfil escalonado.

Y si el modo fundamental es el que se ensancha en el tiempo, se presenta el efecto denominado *dispersión cromática*.

Existen dos tipos fundamentales de comportamiento en las fibras ópticas de perfil escalonado: comportamiento monomodo y comportamiento multimodo.

La diferencia entre ambos radica en que las fibras ópticas monomodo por el núcleo de la misma únicamente se propaga el modo fundamental o modo en orden inferior, mientras que en las fibras multimodo se propagan siempre varios modos: el modo fundamental y otros de orden superior.

Únicamente las fibras ópticas con perfil escalonado y con unas peculiares características geométricas son capaces de presentar un comportamiento monomodo.

La ley que determina, en función de los parámetros geométricos de las fibras ópticas, los modos que pueden propagarse por cada fibra será analizada más adelante en el tema de: *Parámetros Estructurales de las Fibras Ópticas*.

Las fibras de índice escalonado tienen tres formas comunes:

- A) Un núcleo de vidrio, revestido con un vidrio que tiene levemente un índice de refracción más bajo.

- B) Un núcleo de vidrio de silicio, revestido con plástico.
- C) Un núcleo de plástico, revestido con otro plástico.

Generalmente, el escalón en el índice de refracción es más pequeño para todas las fibras de vidrio, un poco más grande para las fibras de silicio-plástico y más grande para las de plástico-plástico.

Las pérdidas por atenuación en las fibras vidrio-vidrio son generalmente más bajas que en una fibra silicio-plástico o que en una fibra plástico-plástico. Las pérdidas en las fibras vidrio-vidrio son de pocos dB/Km. Las pérdidas en las fibras silicio- plástico alrededor de 8 dB/Km. Y las fibras plástico-plástico podrían tener pérdidas de varios cientos de dB/Km.

Revisando la estructura de la fibra de índice escalonado indica que la luz puede también ser atrapada por reflexión total interna en el límite externo del revestimiento, si el material que lo envuelve tiene un índice de refracción más bajo. La luz que viaja por el revestimiento se atenúa más rápidamente que la luz que viaja por el núcleo, esto es porque el límite externo del revestimiento está normalmente en contacto con un material con pérdidas.

5.5.4. FIBRAS DE ÍNDICE GRADUAL.

En una 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 de la fibra en 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 η_1 en el eje de la fibra y decae hasta otro valor η_2 en el límite con el recubrimiento.

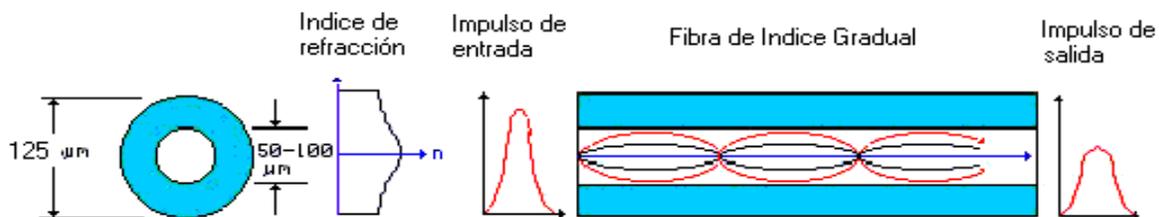


Figura I.18 Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual.

En este tipo de fibras ópticas, el índice de refracción del núcleo no permanece constante, presentando una sección cóncava con una forma acampanada, de manera que el valor del índice de refracción en el centro del núcleo de la fibra es máximo y decrece a medida que se acerca a su periferia.

En la frontera entre núcleo y revestimiento se igualan los valores de ambos índices de refracción. A partir de éste punto y a lo largo de toda su sección permanece constante el valor del índice de refracción del revestimiento.



5.5.5. PROPAGACIÓN EN UNA FIBRA DE ÍNDICE GRADUAL.

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

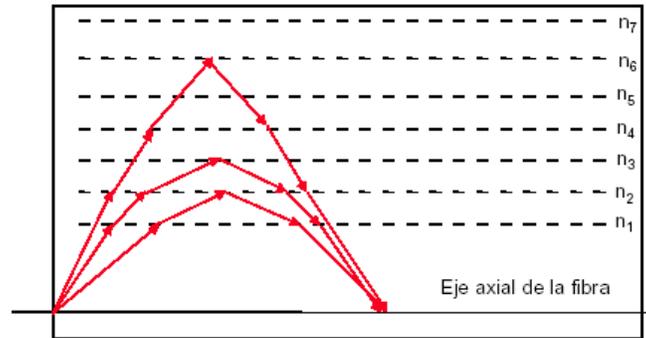


Figura I.19 Funcionamiento de Índice Gradual.

Como consecuencia de la variación continua del índice de refracción 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 aún 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.

Esta insignificante diferencia de tiempo de recorrido en la fibra de perfil gradual se produce no sólo por la dispersión en el material, sino también por la *dispersión del perfil*.

6. PARAMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

El método utilizado para la caracterización de las fibras ópticas se basa en la determinación de una serie de parámetros característicos de las fibras ópticas, siempre en función del tipo específico de fibra óptica que se vaya a caracterizar.

Los parámetros característicos de las fibras ópticas, que serán vistos a detalle en este epígrafe, son:

- ↪ *Parámetros Geométricos.*
- ↪ *Parámetros Estructurales Ópticos.*
- ↪ *Parámetros Fundamentales de Transmisión.*

A continuación se presentan los parámetros característicos en función del comportamiento de la fibra óptica; así como sus métodos de medición.



6.1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Estos son constantes a lo largo de la Fibra Óptica, dentro de las tolerancias propias de fabricación y se refieren a las características geométricas de la misma; por lo que también son conocidos como Parámetros Estáticos.

La siguiente es una lista de Parámetros Geométricos que caracterizan a una fibra óptica:

- ↔ Diámetro del núcleo.
- ↔ No circularidad del núcleo.
- ↔ Error de concentricidad núcleo-revestimiento.
- ↔ Diámetro del revestimiento.
- ↔ No circularidad del revestimiento.
- ↔ Diámetro del recubrimiento primario.
- ↔ No circularidad del recubrimiento primario.
- ↔ Error de concentricidad revestimiento-recubrimiento primario.

Los diámetros, concentricidades y circularidades son función de la tecnología usada en la fabricación de fibras y las tolerancias correspondientes serán una constante de la misma.

Se definió el perfil de una fibra óptica, para una sección transversal mínima, como la distribución de los valores de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento en esa sección transversal mínima.

El índice de refracción del núcleo se define en función de la distancia a medida que nos desplazamos desde el centro del núcleo hacia su periferia.

El índice de refracción del revestimiento se define en función de la distancia a medida que nos desplazamos desde la frontera entre núcleo y revestimiento hacia la periferia del revestimiento.

El índice de refracción del revestimiento permanece siempre constante.

Los parámetros geométricos y las leyes en base a las cuales se determina la distribución de los índices de refracción de núcleo y revestimiento son:

Diferencia Normalizada de Índices de Refracción (Δ).

La diferencia normalizada de índices de refracción, es un parámetro geométrico de las fibras ópticas.

Se define como la relación existente entre los valores de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento, conforme la siguiente expresión matemática:



$$\Delta = \frac{N_B^2 - N_C^2}{2N_B^2} \quad \dots (12)$$

La relación existente entre la diferencia normalizada de índices de refracción y la apertura numérica viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$A.N. = \sqrt{\Delta 2N_B^2} \quad \dots (13)$$

Exponente del Perfil de la Fibra (g).

Este parámetro geométrico de las fibras ópticas es crítico, al ser el valor adoptado para el mismo el que determine que el perfil de la fibra sea escalonado o gradual.

La ley que rige la distribución de los índices de refracción para el núcleo de la fibra óptica, en función de los parámetros geométricos, viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$N^2_{(R)} = N_B^2 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{R}{A} \right)^g \right] \quad \dots (14)$$

Expresión en la cual la notación utilizada, ha sido la siguiente:

- $N^2_{(R)}$ Índice de refracción del núcleo al cuadrado, en función de la distancia centro del núcleo-periferia del núcleo.
- N_B^2 Valor máximo del índice de refracción del núcleo al cuadrado, correspondiente al valor del índice de refracción en el centro del núcleo.
- Δ Diferencia normalizada de índices de refracción.
- g Exponente del perfil de la fibra óptica.
- R Distancia medida en el sentido núcleo-periferia del núcleo, expresada en micras.
- A Radio del núcleo de la fibra óptica, expresado en micras.

La expresión para el valor del índice de refracción en el revestimiento de la fibra óptica, viene dada por:

$$N^2(R) = N^2(C) = \text{Constante} \quad \dots (15)$$

Representa que el valor del índice de refracción del revestimiento de la fibra óptica permanece constante a lo largo de toda su sección.

Dentro de los **Parámetros Geométricos**, los diámetros y excentricidades son función de la tecnología usada en la fabricación de fibras y las tolerancias correspondientes serán una constante de la misma.



Recomendación G-651.

La recomendación G-651 del C.C.I.T.T. normaliza las características geométricas de los materiales, ópticas y de transmisión de las fibras ópticas multimodo con perfil gradual del índice de refracción. Las características normalizadas son:

Características Geométricas.

Las características geométricas definidas por G-561, son:

- ↪ Diámetro del núcleo: $50 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$ (6%).
- ↪ Error de concentricidad núcleo-revestimiento: $\leq 6 \%$.
- ↪ No circularidad del núcleo: $\leq 6 \%$.
- ↪ Diámetro del revestimiento: $125 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$ (2.4%).
- ↪ No circularidad del revestimiento: $\leq 2 \%$.
- ↪ Diámetro del recubrimiento primario: $245 \mu\text{m} \pm 24.5 \mu\text{m}$.
- ↪ No circularidad del recubrimiento primario: $\leq 6 \%$.
- ↪ Error de concentricidad del recubrimiento primario: $\leq 6 \%$.

Recomendación G-652.

La recomendación G-652 del C.C.I.T.T. normaliza las características geométricas de los materiales, ópticas y de transmisión de las fibras ópticas monomodo con perfil escalonado del índice de refracción. Las características normalizadas son:

Características Geométricas.

Las características geométricas definidas en G-652, son:

- ↪ Diámetro del núcleo: de 9 a $10 \mu\text{m} \pm 10 \%$.
- ↪ Error de concentricidad del campo modal: $\leq 1 \mu\text{m}$.
- ↪ No circularidad del núcleo: $\leq 3 \%$.
- ↪ Diámetro del revestimiento: $125 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$.
- ↪ No circularidad del revestimiento: $\leq 2 \%$.
- ↪ Diámetro del recubrimiento primario: $245 \mu\text{m} \pm 24.5 \mu\text{m}$.
- ↪ No circularidad del recubrimiento primario: $\leq 2 \%$.
- ↪ Error de concentricidad del recubrimiento primario: $\leq 2 \%$.

6.2. PARÁMETROS ESTRUCTURALES ÓPTICOS.

Con anterioridad se definieron los parámetros geométricos de una fibra óptica. Su utilización permitirá determinar la distribución de los índices de refracción de núcleo y revestimiento.



Los parámetros estructurales ópticos son los encargados de determinar, a partir de los parámetros geométricos adoptados, el comportamiento de la fibra óptica.

De esta forma es posible determinar el número total de modos o haces lumínicos que pueden propagarse simultáneamente por el núcleo de la fibra óptica, así como el rango de longitudes de onda de los mismos.

Los parámetros estructurales y las leyes en base a las cuales se determinan éstos son:

- ↔ Apertura numérica.
- ↔ Perfil de la fibra óptica.
- ↔ Longitud de onda límite.
- ↔ Diámetro del campo modal.
- ↔ Error de concentricidad del campo modal.

6.2.1. APERTURA NUMÉRICA.

Cuando se realiza el acoplamiento entre la onda lumínica emitida por la fuente de luz y el medio utilizado para la transmisión, fibra óptica, la onda lumínica sufre una variación en el medio de propagación, pues tras de propagarse inicialmente por el aire, pasa a propagarse por el núcleo de la fibra óptica.

El fenómeno físico que posibilita este cambio en el medio de propagación y el acoplamiento del haz lumínico al nuevo medio de propagación es el de la refracción de la onda lumínica.

A su vez, la viabilidad del acoplamiento se determina por todos aquellos valores para los cuales el valor de la onda incidente se encuentra por debajo del ángulo límite de reflexión.

El parámetro que, conjugando estos dos fenómenos físicos, refracción y reflexión delimita el rango de pulsos lumínicos capaces de ser acoplados y de propagarse por el núcleo de una fibra óptica recibe el nombre de *apertura numérica*.

Se define la apertura numérica de una fibra óptica como el valor numérico del seno del máximo ángulo que posibilita el acoplamiento de la onda lumínica desde el exterior de la fibra óptica hasta su interior.

6.2.2. PARÁMETRO ESTRUCTURAL V.

El parámetro estructural V o frecuencia normalizada, es un parámetro adimensional que se utiliza como paso intermedio para el cálculo del número de modos que es posible propagar por el núcleo de una fibra óptica.



En el caso de las fibras ópticas monomodo, en las que se propaga sólo el modo fundamental, se utiliza para determinar el valor de la longitud de onda límite y para la obtención del diámetro del campo modal.

Su cálculo viene dado por la siguiente expresión matemática:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} A.N. \quad \dots (16)$$

Expresión en la que la notación utilizada ha sido la siguiente:

- V** Parámetro estructural adimensional V.
- a** Radio del núcleo de la fibra óptica, expresado en micras.
- A.N.** Apertura numérica de la fibra óptica utilizada.
- λ** Longitud de onda del pulso lumínico propagado.

6.2.3. PERFIL DE LA FIBRA ÓPTICA.

Si en una fibra óptica se considera al índice de refracción η en función del radio r , se tiene el *perfil del índice de refracción* de esta.

Que define la ley de variación del índice, y siendo la velocidad de la luz en cada punto función de dicho índice, dará lugar a diversas velocidades en diferentes puntos.

6.2.4. LONGITUD DE ONDA LÍMITE.

Se define la longitud de onda de corte o longitud de onda límite de una fibra óptica como el valor de la mínima longitud de onda que determina el que se propague solamente el modo fundamental.

Por tanto, para los valores superiores a la longitud de onda límite, la fibra óptica presenta un comportamiento monomodo, mientras que para los valores inferiores a la misma, la fibra óptica presenta un comportamiento multimodo.

Previamente al cálculo de la longitud de onda de corte es necesario fijar el resto de los parámetros geométricos ópticos de la fibra óptica.

Su cálculo viene dado por la expresión matemática:

$$\lambda_1 = \pi \frac{2\alpha}{V_1} A.N. \quad \dots (17)$$



6.2.5. DIÁMETRO DEL CAMPO MODAL.

Se define el diámetro del campo modal de una fibra óptica monomodo como aquel valor del diámetro del núcleo de una fibra óptica para el que la distribución lumínica o intensidad del campo óptico del modo fundamental se reduce un 37% con respecto al valor máximo alcanzado en el centro del núcleo de la fibra óptica.

El valor de la distribución lumínica o intensidad del campo óptico en el centro del núcleo de la fibra óptica, es del 100%.

El diámetro del campo modal depende directamente del *parámetro estructural V* y del radio del núcleo de la fibra óptica, lo que implica su dependencia de la apertura numérica de la fibra óptica y de su longitud de onda de trabajo.

El diámetro del campo modal, conjuntamente con la longitud de onda límite, constituyen los dos parámetros estructurales característicos de las fibras ópticas monomodo.

Su cálculo, a partir del parámetro estructural *V*, viene dado por la siguiente expresión matemática:

$$\omega_0 = 2a \frac{2.6}{V} \quad \dots (18)$$

Expresión en la que la notación utilizada, ha sido la siguiente:

- ω_0 Diámetro del campo modal.
- a Radio del núcleo de la fibra óptica, expresado en micras.
- V Parámetro estructural *V*.

Esta expresión es válida para todos los valores del parámetro estructural *V* comprendidos entre 1.6 y 2.6, que corresponden con el rango de longitudes de onda comprendidas entre 1150 nm y 1875 nm.

Abarcan todos los valores usuales de utilización de las fibras ópticas con comportamiento monomodo, al ser éstos los correspondientes a las longitudes de onda centradas en 1300 nm y en 1550 nm.

Recomendación G-651.

Características Ópticas.

Las características ópticas definidas por G-651 son:

- ↪ Perfil del índice de refracción: casi parabólico.



- ↪ Margen de variación de la apertura numérica: El valor de la apertura numérica estará comprendido desde 0.18 hasta 0.24 admitiéndose una desviación máxima de 60.02 con respecto al valor nominal.

Recomendación G-652.

Características Ópticas.

Las características ópticas definidas por G-652 son:

- ↪ Perfil del índice de refracción: Escalonado.
- ↪ El valor de la apertura numérica para las fibras monomodo no puede normalizarse por estar en función del diámetro de campo y de la longitud de onda de trabajo de la fibra.

6.3. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE TRANSMISIÓN.

Las características intrínsecas de la fibra óptica son las que determinan los parámetros fundamentales de transmisión de la misma. Estos parámetros fundamentales de transmisión son los siguientes:

- ↪ Coeficiente de Atenuación.
- ↪ Dispersión Total / Ancho de Banda.

Este último parámetro en el caso de las fibras ópticas monomodo, es la componente de la dispersión total, denominada dispersión cromática, la que determina fundamentalmente el ancho de banda de una fibra óptica. Y en el caso de las fibras ópticas multimodo, es la componente de la dispersión total, denominada dispersión modal, la que determina fundamentalmente el ancho de banda de una fibra óptica.

6.3.1. ATENUACIÓN ESPECTRAL.

Se puede definir la atenuación como la disminución o pérdida de la potencia lumínica inyectada en la fibra con la distancia.

El C.C.I.T.T. define la atenuación $A(\lambda)$ a una longitud de onda λ entre dos secciones transversales 1 y 2 de una fibra óptica, separadas por una distancia L , conforme la expresión matemática:

$$A(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P1(\lambda)}{P2(\lambda)} (dB) \quad \dots (19)$$

Expresión en la que la notación utilizada ha sido la siguiente:



- A(λ)** Atenuación de la fibra óptica expresada en dB.
P1(λ) Potencia óptica que atraviesa la sección transversal #1 de la fibra óptica.
P2(λ) Potencia óptica que atraviesa la sección transversal #2 de la fibra óptica.
 λ Longitud de onda a la que se mide la potencia óptica.

Para una fibra óptica uniforme, en condición de equilibrio, es posible calcular el coeficiente de atenuación o la atenuación por unidad de longitud conforme la expresión:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad \dots (20)$$

Expresión en la que α (λ) representa el coeficiente de atenuación y se expresa en dB/Km.

Las mediciones se realizan a temperatura ambiente y en un valor único comprendido en la gama de +10 °C a +35 °C. La atenuación de las fibras ópticas varía en función de la longitud de onda.

6.3.2. DISPERSIÓN Y ANCHO DE BANDA.

Se define el ancho de banda de una fibra óptica como aquella frecuencia a la cual la magnitud de la función de transferencia decrece hasta una fracción especificada, generalmente 3 dB, con respecto al valor que ésta presenta a frecuencia nula. El ancho de banda de la fibra óptica se expresa en la práctica como el producto de ancho de banda por unidad de longitud (Mhz/Km).

Las fibras ópticas están caracterizadas por el producto ancho de banda por un kilómetro. Este ancho de banda permanece constante para longitudes de tendido inferiores a 1 Km. El ancho de banda del cable óptico para longitudes de tendido superiores a 1 Km no permanece constante, sino que disminuye de forma proporcional a la longitud del mismo.

Para su cálculo teórico se utiliza la fórmula matemática siguiente:

$$B(L) = B(f)L^{-\gamma} \quad \dots (21)$$

Los factores que intervienen en esta fórmula son los siguientes:

- B(f)** Ancho de banda característico de la fibra óptica caracterizado para una longitud de 1 Km y expresado en Mhz/Km.
B(L) Nuevo valor del Ancho de Banda del cable de fibra óptica, caracterizado para la nueva longitud L y expresado en MHz/Km.
L Nueva longitud del cable de fibra, mayor de 1Km.
 γ Exponente longitudinal, este factor es variable en función de la longitud del cable, se encuentra comprendido entre 0.7 y 0.9.



Recomendación G-651.

Características de Transmisión.

Las características de Transmisión definidas por G-651 son:

- ↪ Coeficiente de atenuación: Tendrá un valor inferior a 4 dB/km para una longitud de onda de 850 nm y un valor inferior a 2 dB/km para una longitud de onda de 1300 nm.
- ↪ Respuesta de banda base: Referida a 1 Km.
- ↪ Ancho de banda: Superiores a 200 Mhz/km para valores de longitud de onda de 850 nm y/o 1300 nm.
- ↪ Coeficiente de dispersión cromática: En este caso debida al material, será inferior a 120 ps/nm * km para una longitud de onda de 850 nm e inferior a 6 ps/nm * km para una longitud de onda de 1300 nm.

Recomendación G-652.

Características de Transmisión.

Las características de transmisión definidas por G-652, son:

- ↪ Coeficiente de atenuación: Tendrá un valor inferior a 1 dB/km para una longitud de onda de 1300 nm, y un valor inferior a 0.5 dB/km para una longitud de onda de 1550 nm.
- ↪ Coeficiente de dispersión cromática: Será inferior a 3.5 ps/nm * km para valores de longitud de onda comprendidos en el rango de 1285 nm a 1330 nm. Será inferior a 6 ps/nm * km para valores de longitud de onda comprendidos en el rango de 1270 nm a 1340 nm. Será inferior a 20 ps/nm * km para una longitud de onda de 1550 nm.

7. PÉRDIDAS EN UNA FIBRA ÓPTICA.

Las pérdidas en la fibra óptica son un factor limitante y fundamental pues reducen la potencia promedio que llega al receptor. Puesto que los receptores ópticos necesitan una potencia mínima para recuperar exactamente la señal, la transmisión a distancia es inherente limitada por pérdidas en la fibra.

7.1. PÉRDIDAS INTRÍNSECAS Y EXTRÍNSECAS.

7.1.1. ABSORCIÓN.

Las fibras ópticas son hechas de silicio fundido. La absorción del material puede ser dividida en dos categorías. La *absorción intrínseca* corresponde a las pérdidas causadas por el silicio puro, mientras que la *absorción extrínseca* está relacionada a las pérdidas causadas por impurezas. Cualquier material absorbe a ciertas longitudes de onda



correspondientes a las resonancias electrónicas y vibratorias asociadas con moléculas específicas. Para las moléculas del silicio, la resonancia electrónica ocurre en la región ultravioleta ($\lambda < 0.4 \mu\text{m}$), mientras que la resonancia vibratoria ocurre en la región del infrarrojo ($\lambda < 0.7 \mu\text{m}$). Debido a la naturaleza amorfa del silicio fundido, estas resonancias están en forma de bandas de absorción cuyos extremos se extienden dentro de la región visible.

La absorción extrínseca resulta de la presencia de impurezas. Las impurezas de los metales de transición tales como el hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), níquel (Ni), manganeso (Mn), y cromo (Cr) absorban fuertemente en el rango de longitudes de onda de $0.6\text{-}1.6 \mu\text{m}$. Su cantidad debe ser reducida debajo de una parte por billón ($< 10^{-9}$) para obtener un nivel de pérdidas debajo de 1dB/Km . La principal fuente de absorción extrínseca en fibras avanzadas es la presencia de vapor de agua. La resonancia vibratoria del ión OH ocurre en $2.73 \mu\text{m}$. Sus tonos armónicos y combinación con el silicio produce gran absorción en las longitudes de onda de $1.39 \mu\text{m}$, $1.24 \mu\text{m}$ y $0.95 \mu\text{m}$. Incluso una concentración de una parte por millón puede causar pérdidas de 50 dB/Km en $1.39 \mu\text{m}$. Típicamente, la concentración del ión OH debería ser reducido debajo de 10^{-8} para obtener pérdidas debajo de 10 dB/Km en esta longitud de onda.

7.1.2. DISPERSIÓN DE RAYLEIGH.

La dispersión de Rayleigh es un mecanismo fundamental de pérdidas que se presenta por fluctuaciones microscópicas locales en densidad. Las fluctuaciones de la densidad conducen a fluctuaciones del índice de refracción sobre una escala más pequeña que la longitud de onda (λ). La dispersión de la luz en tal medio es conocida como *dispersión de Rayleigh*. La sección transversal de la dispersión varía como λ^{-4} y es dominante en longitudes de onda cortas.

Esto es, la energía de la luz golpea con obstrucciones dispersas en todas direcciones y la mayor parte no continúa en la dirección original de propagación. Esta energía dispersa de la luz es perdida. Y como ya se mencionó, las obstrucciones son típicamente variaciones en la densidad del material y el índice de refracción o partículas dentro de éste; de tamaño comparable a (λ).

La Dispersión de Rayleigh se presenta cuando:

- ↪ La fibra óptica tiene partículas y zonas no homogéneas, las cuales al ser tocadas por la luz infrarroja emiten radiación en todas direcciones.
- ↪ Cuando la luz utilizada es visible y el material de la fibra óptica no es homogéneo o partículas existentes las cuales al ser iluminadas emiten luz en todas direcciones a esto se le llama luz de Tyndall.



7.1.3. CURVATURAS Y MICROCURVATURAS.

Las curvaturas en una fibra constituyen otra fuente de pérdidas. Una fibra puede no seguir una trayectoria rigurosamente recta, y por el contrario sufrir curvaturas. Cuando se estudiaron las propiedades de propagación en la fibra, se supuso que ésta era recta. En particular, las condiciones de reflexión total suponían una interfaz núcleo-revestimiento también recta. Si la fibra está curvada, el ángulo de reflexión ya no es constante entre una reflexión y otra. La razón puede ser entendida usando la técnica de trazo de rayos. Normalmente, un rayo guiado golpea la interfaz núcleo-revestimiento en un ángulo más pequeño que el ángulo crítico para curvaturas apretadas. El rayo entonces escaparía de la fibra. En la descripción de modo, una parte de la energía del modo se dispersará en la capa del revestimiento, o se transformará en otro modo (sólo si el cambio de ángulo da lugar a un nuevo ángulo correspondiente a un modo que puede propagarse efectivamente).

Una fuente mayor de pérdidas, particularmente en la forma de la fibra, es relacionada con las distorsiones axiales aleatorias las cuales invariablemente ocurren durante el cableado cuando la fibra es presionada contra una superficie que no es perfectamente lisa. Tales pérdidas son referidas como *pérdidas por microcurvaturas*. Las microcurvaturas causan un incremento en las pérdidas de la fibra tanto en las fibras multimodo como en las monomodo y pueden resultar en una pérdida excesivamente grande si no son tomadas algunas precauciones para minimizarlas.

7.2. PÉRDIDAS EN LA CONEXIÓN.

En un sistema de comunicaciones por fibra óptica puede ser necesario conectar las fibras entre sus extremos, ya sea para alargar un enlace, conectar una fibra a una fuente o a un detector, o cuando sea necesario hacer una derivación en el enlace, o simplemente porque la fibra se rompió. Las pérdidas en las conexiones pueden presentarse de diferentes maneras, como a continuación se mencionan.

7.2.1. DESALINEAMIENTO LATERAL.

Un modelo simple asume que la potencia está uniformemente distribuida sobre el núcleo de la fibra. Por lo que, la pérdida por desalineamiento lateral es simplemente debido a un corrimiento de los núcleos de las fibras transmisora y receptora, esto es, el eje de la fibra es paralelo al eje del núcleo de la otra fibra, pero los dos ejes no son colineales. Esto se puede ver en la figura I.20.

Por lo que la densidad de potencia en el final de una fibra larga será más baja en los bordes del núcleo que en los puntos más cercanos a su centro.

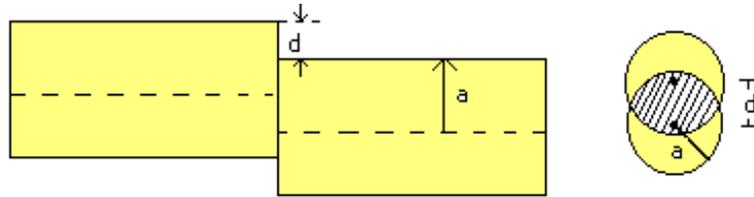


Figura I.20 Corrimiento de los núcleos de las fibras transmisora y receptora. Los núcleos están desalineados por la distancia d .

7.2.2. DESALINEAMIENTO ANGULAR.

En este caso los ejes de las dos fibras forman un ángulo (figura I.21). Esto provoca que no todos los rayos que salen de la fibra transmisora entren en la fibra receptora con ángulos más pequeños que el ángulo crítico de propagación, lo cual provocará que estos rayos no sean confinados en el núcleo y por lo tanto no se propagarán.

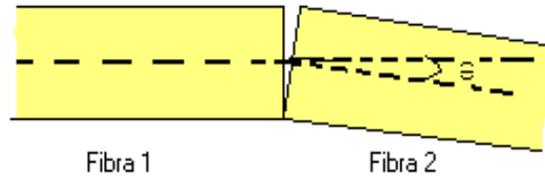


Figura I.21 Acoplamiento entre dos fibras idénticas en las cuales sus ejes forman un ángulo Y en un plano dado.

7.2.3. SEPARACIÓN DE LAS FIBRAS.

Cuando existe un espacio entre las fibras que son ensambladas, dos fenómenos distintos de pérdidas ocurren. Primero, hay dos límites entre el medio de la fibra y el aire. Así las dos superficies reflejantes contribuyen a las pérdidas. Una forma de eliminar estas pérdidas es llenar el espacio con líquido adaptador de índice, un líquido transparente cuyo índice de refracción es igual que el núcleo de la fibra. Esto es hecho a menudo en empalmes y conectores.

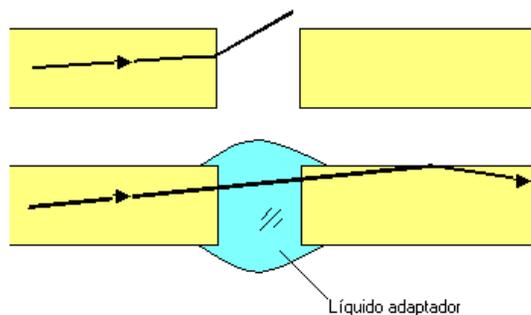


Figura I.22 Un fluido adaptador de índice disminuye las pérdidas por separación de fibras reduciendo la divergencia del haz.



El segundo mecanismo de pérdidas es mostrado en la figura (I.22). Cuando un espacio se presenta, algunos rayos transmitidos no son interceptados por la fibra receptora. Cuando el espacio se incrementa, más grande cantidad de potencia pierde el núcleo receptor debido a la divergencia del haz.

7.2.4. EXTREMOS LISOS Y PARALELOS.

Si la cara de entrada de una fibra no es perpendicular a su eje, se vuelve a tener una pérdida comparable a la que resulta del desalineamiento angular. Y si las caras de las fibras son rugosas, la difusión en las irregularidades produce pérdidas suplementarias. Para remediar este problema también es útil recurrir al líquido adaptador del índice.

7.2.5. VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DEL NÚCLEO.

Las conexiones entre fibras que tienen diferentes diámetros de núcleo son comunes. Las pérdidas existen cuando el radio del núcleo de la fibra transmisora es más grande que el radio del núcleo de la fibra receptora. No hay pérdidas cuando la fibra receptora es más grande que la fibra transmisora.

7.2.6. PÉRDIDAS POR EMPALMES Y CONECTORES.

Los conectores son utilizados para interconectar fibras ópticas en sistemas de comunicaciones, de sensado, de ruteo y de manera general en cualquier sistema de fibra óptica. Ellos pueden ser divididos en dos categorías. Una unión permanente entre dos fibras es conocida como empalme de fibras, mientras que una conexión desmontable entre ellas es realizada usando un conector de fibras. Los conectores son usados para ligar el cable de la fibra con el transmisor (o el receptor), mientras que los empalmes son utilizados para unir segmentos de fibra. El problema principal en el uso de empalmes y conectores está relacionado con las pérdidas. Siempre se pierde algo de potencia, ya que los extremos de las dos fibras nunca están perfectamente alineados en la práctica.

Las pérdidas por empalme debajo de 0.1 dB son realizadas usando la técnica de empalme por fusión. Las pérdidas por conectores son generalmente más grandes. Los conectores avanzados proveen un promedio de pérdidas alrededor de 0.3 dB.

CAPITULO II

“MEDIO DE TRANSMISIÓN FIBRA ÓPTICA”



*... No malgastes el tiempo, pues de esta materia está formada la vida.
BENJAMIN FRANKLIN.*



1. CABLES

1.1. PRINCIPIOS QUÍMICOS DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.

1.1.1. VIDRIO DE CUARZO.

Aproximadamente la mitad (en peso) de la corteza terrestre sólida está compuesta por oxígeno y una cuarta parte, por silicio. En la tabla periódica de los elementos el oxígeno es el elemento 8 y el silicio 14.

La abundancia de ambos elementos se debe a que la corteza terrestre está formada principalmente por cuarzo y sus compuestos con óxidos metálicos (silicatos). El cuarzo, que en su carácter de compuesto químico se denomina *dióxido de silicio* SiO_2 , aparece por lo general en la forma de la cuarzita como componente de la arena. Esta se ha formado en el transcurso de los siglos por la erosión de piedras, especialmente granito.

En su forma más pura el cuarzo cristalino aparece como cristal de roca claro como el agua. Sus propiedades ópticas y mecánicas son anisotrópicas: varían en las diversas direcciones de sus cristales. Debido a sus múltiples aplicaciones técnicas, hoy en día el cuarzo se elabora en forma sintética provocando su crecimiento a partir de un núcleo cristalino.

En contraposición con el cuarzo, el vidrio de cuarzo resulta de una masa fundida a partir de dióxido de silicio solidificado, de carácter amorfo –es decir no cristalino- con apariencia sólida debido a su alta viscosidad (tenacidad). No posee punto de fusión, pero a temperaturas elevadas se ablanda progresivamente, se vuelve pastoso y luego se evapora sin pasar previamente por el estado líquido.

La viscosidad es un valor muy importante para la elaboración y el conformado del vidrio. Con la misma se describe el rozamiento interno en el vidrio de cuarzo; su símbolo es η y su unidad puede ser indicada con 1 decipascalsegundo ($\text{dPa}\cdot\text{s}$) = $1\text{g} / \text{cm}\cdot\text{s}$. A medida que aumenta la temperatura T , la viscosidad del virio de cuarzo disminuye en forma progresiva.

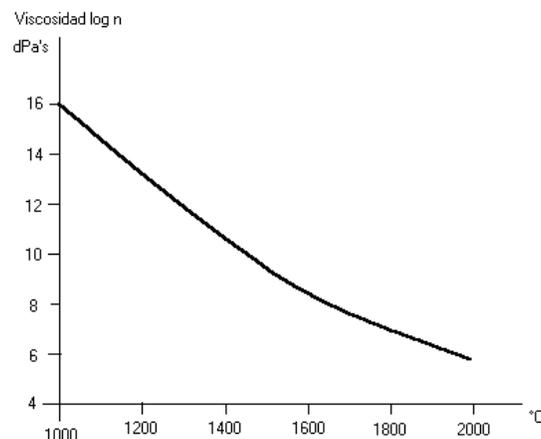


Figura II.1. Variación de la viscosidad del vidrio de Cuarzo en función de la temperatura.



La figura II.1 nos muestra la variación de la viscosidad del vidrio de cuarzo en función de la temperatura.

El límite de relajación superior e inferior señala el alcance del área de enfriamiento o transformación, o sea la transición del estado elastoviscoso de una masa fundida subenfriada al estado frágil del vidrio de cuarzo. En el rango de temperaturas de ablandamiento la forma del cuerpo de cuarzo cambia por la acción de su propio peso.

1.1.2. FABRICACIÓN.

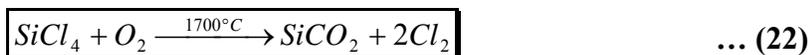
En general la elaboración de vidrio de cuarzo de alta pureza tiene lugar mediante la separación de SiO₂ (óxido de silicio), de la fase gaseosa, produciéndose, con el agregado de oxígeno y en virtud del desprendimiento de cloro gaseoso, la transformación del compuesto muy volátil tetracloruro de silicio SiCl₄.

Viscosidad log η	Denominación	Temperatura del Vidrio de cuarzo °C
7.6	Temperatura del ablandamiento (softening point)	1730
13	Límite superior de relajación (Annealing point)	1180
14.5	Límite inferior de relajación (Strain point)	1075

Tabla II.1. Temperaturas características del vidrio de cuarzo interpretadas con ayuda del log η.

El proceso se realiza utilizando SiCl₄, ya que este compuesto, en comparación con el SiO₂ natural, se puede obtener con un alto grado de pureza mediante destilación.

Ecuación de la reacción:



Actualmente se fabrican los cables de fibra óptica para las telecomunicaciones ópticas utilizando este proceso. Un factor muy importante para la propagación de la luz en un cable de fibra óptica es, el índice de refracción n del vidrio. Esto se puede “ajustar” por medio de un adecuado “dopado” o sea agregando determinados óxidos durante la separación de la fase gaseosa. Por ejemplo agregando flúor (F) o trióxido de boro (B₂O₃) se obtiene un índice de refracción bajo y al agregar dióxido de germanio (GeO₂) o pentóxido de fósforo (P₂O₅), un índice más alto, como el requerido para el núcleo del cable de fibra óptica. Sin embargo, se debe tener en cuenta, que las variaciones de los índices de refracción del vidrio de cuarzo que se pueden obtener al variar el dopado son relativamente limitadas.

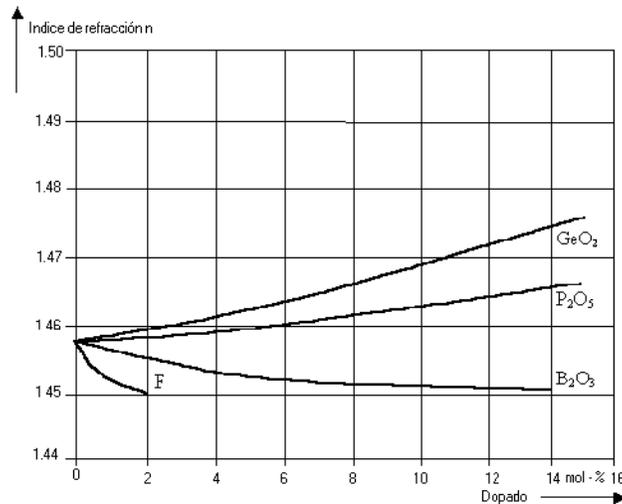


Figura II.2. Índices de refracción de SiO₂ con diferentes dopantes.

En la figura anterior se presenta la variación del índice de refracción n del vidrio de cuarzo dopado en función de la concentración de diferentes elementos dopantes.

En virtud del agregado de estos óxidos al dióxido de silicio de alta pureza, se modifica no sólo el índice de refracción sino también 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 incorporación de moléculas extrañas se incrementa la dispersión de la luz y, por tanto, la atenuación de la luz que se propaga por el cable.

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 de OH. Incluso con muy pequeñas contaminaciones del vidrio de cuarzo con estas impurezas metálicas o con iones de OH son suficientes para producir elevadas pérdidas de luz. La concentración de estas impurezas se indica en ppm (partes por millón) o en ppb (partes por billón = 10^{-9}); significa que tiene una parte de impureza por cada millón o mil millón partes de la sustancia básica (El tema de Atenuación 1.2.2). La absorción de estas impurezas es muy marcada: por ejemplo 1 ppm de Cu provoca una atenuación de varios dB/Km a longitudes de onda del orden de los 800 nm y una concentración de 1 ppm de dB/km a 1240 nm y 35 dB/km a 1390 nm. De lo anterior se desprende además que, según la impureza, la atenuación puede ser importante a determinada longitud de onda, en razón de lo cual se habla de bandas de absorción en la correspondiente gama de longitudes de onda.

Si en lugar de dióxido de silicio de alta pureza como material de partida para la fabricación de cables 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 compuesto por óxidos adicionales que lo hacen mucho menos transparente a la luz; en cambio, tiene una serie de ventajas mecánicas y técnicas en lo relativo a su fabricación.

1.1.3. PROPIEDADES DEL MATERIAL.

El vidrio de cuarzo es una sustancia isotrópica; quiere decir que sus propiedades físicas son las mismas independientemente de la dirección. Muy conocido es su comportamiento frente a variaciones rápidas de temperatura. Teniendo en cuenta su *coeficiente de dilatación lineal* extremadamente pequeño (tabla II.2), presenta una extraordinaria estabilidad frente a los cambios de temperatura.

Denominación	Unidad	Valor
Densidad γ	$\frac{g}{cm^3}$	2.20
Módulo de elasticidad E	$\frac{N}{mm^2}$	72900
Módulo de torsión G	$\frac{N}{mm^2}$	33000
Coeficiente de dilatación lineal (por variaciones de temperatura) α	K ⁻¹	5.5*10 ⁻⁷

Tabla II.2. Características del vidrio de cuarzo.

Ejemplo

Variación de la longitud de una fibra de vidrio de cuarzo:

Longitud de la muestra L = 1km. Variación de la temperatura: de 20 a 40 °C: $\Delta T = 20K$.

En la tabla II.2 se indican una serie de características típicas del vidrio de cuarzo.

La variación de la longitud ΔL se calcula entonces con:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \alpha * \Delta T * L \\ \Delta L &= (5.5 * 10^{-7} / K)(20K)(1km) = 110 * 10^{-7} * 10^5 cm \\ \Delta L &= 1.1cm \end{aligned} \quad \dots (23)$$

Para aclarar las características y sus valores se dan a continuación los siguientes ejemplos:

*Cálculo del peso*

De una fibra de vidrio de cuarzo de 1 km de longitud, sin recubrimiento, con un diámetro $d=125\ \mu\text{m}=0.125\ \text{mm}$.

La superficie de la sección de vidrio es:

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \approx 3.14 * \frac{(0.125\text{mm})^2}{4} \approx 0.0123\text{mm}^2 = 1.23 * 10^{-4}\ \text{cm}^2 \quad \dots (24)$$

El peso G por km se obtiene con:

$$G = \gamma * A * 1\text{km} = 2.20 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * (1.23 * 10^{-4}\ \text{cm}^2 * 10^5\ \text{cm}) \approx 27\ \text{g} \quad \dots (25)$$

Cálculo de la variación de longitud φ

U de la correspondiente fuerza de tracción de una fibra de vidrio de cuarzo con un diámetro $d=125\ \mu\text{m}=0.125\ \text{mm}$ en un ensayo continuo (prof test) con una tensión

$$\sigma \approx 345 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx 50\ \text{KPSI}^3 \quad \dots (26)$$

Considerando la Ley de Hooke:

$$\sigma = E * \xi \quad \dots (27)$$

La tensión σ (tracción o compresión) es proporcional a la variación relativa de longitud $\varphi=\Delta L/L$ (alargamiento o acortamiento por unidad de longitud) con el módulo de elasticidad como factor de proporcionalidad.

Se obtiene para la dilatación longitudinal:

$$\xi = \frac{\sigma}{E} = \frac{50 * 6.8948 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{72900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \approx 4.73 * 10^{-3} \approx 5\% \quad \dots (28)$$

Para una sección de la fibra óptica $A = 0.0123\ \text{mm}^2$ se obtiene una fuerza de tracción:

³ Kilopound force per square inch $\left[1\ \text{KPSI} = 6.8948 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$



$$F = \sigma * A = 50 * 6.895 \frac{N}{mm^2} * 0.0123mm^2 = 4.24N \quad \dots (29)$$

Cálculo del coeficiente de Poisson μ para una fibra de vidrio de cuarzo:

El coeficiente de Poisson (denominado también coeficiente transversal) da la relación entre la variación del diámetro y la longitud de un cuerpo sometido a una cierta sollicitación:

$$\mu = \frac{\Delta d}{d} : \frac{\Delta L}{L} \quad \dots (30)$$

Se le puede calcular en base al módulo de elasticidad E y el de torsión G :

$$\mu = \frac{E}{2 * G} - 1 \quad \dots (31)$$

Por lo tanto para la fibra de vidrio de cuarzo sigue:

$$\mu = \frac{72900 \frac{N}{mm^2}}{2 * 33000 \frac{N}{mm^2}} - 1 \approx 0.1 \quad \dots (32)$$

En el ensayo continuo con un estiramiento longitudinal del orden del 5% se obtiene una reducción del diámetro de:

$$\frac{\Delta d}{d} = \mu * \frac{\Delta L}{L} \approx 0.1 * 5\% = 0.5\% \quad \dots (33)$$

1.2. PARÁMETROS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA.

La calidad de un cable de fibra óptica se verifica por medio de métodos de medición reconocidos. Es necesario elaborar las normas relativas a los parámetros de los cables de fibra óptica y sus correspondientes métodos de medición.

1.2.1. CONDICIONES DE EXCITACIÓN.

El acoplamiento de la luz en el cable de fibra óptica es muy importante para la posterior distribución de la potencia luminosa en dicho cable, ya que la potencia de un pulso luminoso acoplado se distribuye entre cada uno de los modos en la fibra multimodo.



En el caso de una fibra óptica monomodo una parte de la luz se acopla al modo fundamental y la restante se refleja. La luz se propagará por la fibra de diferente forma, según como sean las *condiciones de excitación* (launching condition) de los modos en el acoplamiento de la luz a las fibras ópticas monomodo y multimodo.

1.2.1.1. CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO.

En el caso de la *excitación total* (full flood launch) se irradia con luz a todo el núcleo la fibra óptica en virtud de lo cual se excita a la totalidad de los modos guiados, tanto los de orden inferior como los superiores y también los fugados⁴. Estos modos, atenuados con diferente intensidad a lo largo del cable de fibra óptica, provocan, por intercambio de energía, una mezcla de modos, que se medirán según la longitud del cable, la distribución diferente de la potencia luminosa y los tiempos de recorrido. En consecuencia, las condiciones en el extremo final de la fibra óptica multimodo dependen del acoplamiento de la luz en su comienzo, independientemente de si la excitación es total o no y de la mezcla de modos durante el recorrido.

Respecto a la fibra óptica multimodo es indispensable definir un método inconfundible de acoplamiento de la luz para obtener métodos de medición exactos y reproducibles de los parámetros importantes para la técnica de transmisión. Para ello se considera como base el hecho de que a partir de una cierta longitud del cable multimodo, y en función de la intensidad con la cual se mezclan los modos, se establece un *estado estacionario* (steady state o equilibrium mode distribution) de modos, en el cual la distribución de energía entre los distintos modos se mantiene constante.

Resulta entonces muy importante medir los parámetros de transmisión en el mencionado estado estacionario, el cual técnicamente puede ser alcanzado de diferentes maneras. Una de ellas consiste en acoplar la luz al cable bajo medición con ayuda de una *fibra de referencia* (dummy fiber), de longitud suficiente, en el cual ya se haya alcanzado el estado estacionario. Dado que el estado de equilibrio se produce tan solo para longitudes muy elevadas, estas fibras de referencia deberán ser muy largas, lo cual no sería práctico. Esto se soluciona originando un fuerte acoplamiento de modos por medio de perturbaciones mecánicas de forma aleatoria en un cable de fibra óptica de reducida longitud. De este modo se alcanza de forma aproximada la deseada distribución estacionaria de modos en este tramo de cable de fibra óptica. Estos tramos se denominan *mezcladores de modos* (mode scrambler). Para lograr este efecto se puede presionar ese tramo de fibra óptica contra una superficie áspera (como por ejemplo: tela de esmeril, una lima, entre otros). Una intensa mezcla de modos también se obtiene empalmado sucesivamente tramos de 1 a 2 m de largo de una fibra óptica con perfil escalonado con otro perfil gradual y nuevamente una con perfil escalonado (dispositivo EGE).

Se utiliza un *filtro de modos* (mode filter) si en un acoplamiento resulta necesario suprimir los modos de orden superior. Para confeccionar un filtro de estas características se enrolla

⁴ Ondas de radiación que se producen por la continuada radiación parcial de energía procedente de una guía de ondas.



la respectiva fibra alrededor de una forma cilíndrica con un diámetro aproximado de 1 cm, suprimiendo, de esta manera, los modos de órdenes superiores. En general, se puede decir que un mezclador de modos se utiliza para excitar a todos los modos; y un filtro de modos, en cambio, para limitar dicha excitación a determinados modos (en especial modos de orden inferior).

Para verificar si una excitación produce una distribución estacionaria o se acerca este estado, se efectúa con un dispositivo especial una medición de los campos cercano y lejano. Se ha comprobado que, por ejemplo, en una fibra óptica con perfil gradual y diámetro de núcleo de 50 μm , se alcanza aproximadamente un estado estacionario cuando, después de 2 m de cable, la distribución de campo cercano radial de forma acampanada; tiene un diámetro medio de unos 26 μm y la correspondiente distribución de campo lejano, también de forma acampanada; indica como función del ángulo, los puntos de valor medio correspondientes a una apertura numérica de 0.11.⁵

1.2.1.2. CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO.

Con excitación total de las fibras ópticas monomodo se producen modos fugados y modos en el recubrimiento que se suprimen a los pocos centímetros utilizando un revestimiento (coating) con índice de refracción mayor que el del recubrimiento. Este revestimiento actúa como *supresor de modos*.

1.2.2. ATENUACIÓN.

Son varios los mecanismos de degradación que contribuyen a las pérdidas de energía en una fibra óptica, siendo unas de carácter intrínseco a la fibra, tal como la composición de vidrio, y otros de origen externo, causado por impurezas, defectos de cableado, de geometría de la fibra, entre otros. Para el diseño de redes las pérdidas de mayor importancia son las referentes al origen externo, esto debido a que las causas de carácter intrínseco no son determinantes para el diseño ya que la fibra que se adquiere para la implementación de una red deberá cumplir con los estándares de calidad. La atenuación se mide en decibeles por unidades de longitud (dB/km).

La luz que se propaga en una fibra óptica experimenta una atenuación, es decir una pérdida de energía. Para cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios es necesario mantener estas pérdidas en el mínimo posible. La atenuación de una fibra óptica es un parámetro importante para la planificación de redes para telecomunicaciones ópticas. Esta atenuación es originada principalmente por los fenómenos físicos de absorción y dispersión.

⁵ Fuente: Conductores de Fibras Ópticas. G. Mahke/P. Gössing. Alemania 2000. Ed: Marcombo.

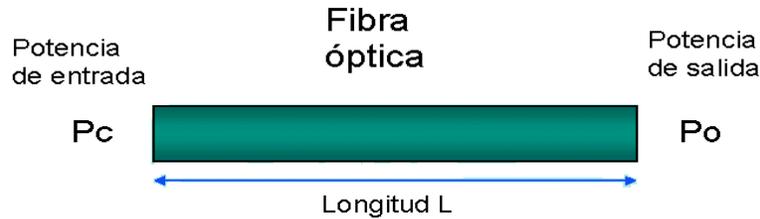


Figura II.3. La atenuación se da por que los fotones son absorbidos por las moléculas del material.

La magnitud de estas pérdidas luminosas depende entre otros factores de la longitud de onda de la luz acoplada. Por eso, para determinar las gamas de longitudes de onda adecuadas para la transmisión óptica con baja atenuación, resulta, en general, útil medir la atenuación de una 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 en las bandas de absorción (por ejemplo 1390 nm para la absorción debida al OH), la pérdida luminosa a la dispersión existe para todas las longitudes de onda. Dado que la dispersión se produce por partes no homogéneas en 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 buena aproximación para explicar este fenómeno: indica que a medida que aumentan las longitudes de onda, la pérdida por dispersión decrece con la cuarta potencia de (λ).

Si se suman todas las pérdidas, extrínsecas e intrínsecas; se obtiene una curva como la de la figura II.4, en la que se observa:

- ↪ Una zona por debajo de los 800 nm, que no es conveniente utilizar por ser de alta atenuación.
- ↪ Una zona por encima de los 1600 nm que presenta problemas de atenuación por el efecto de los rayos infrarrojos. Además, la tecnología de emisores y fotodetectores para esta longitud de onda es muy reciente.
- ↪ Tres zonas de mínima atenuación, denominadas ventanas, que determinan las longitudes de onda habituales para trabajar. Los primeros sistemas de fibra trabajaron en la primera ventana (850 nm). En este momento la zona de trabajo más habitual es la segunda ventana, en torno a los 1300 nm.

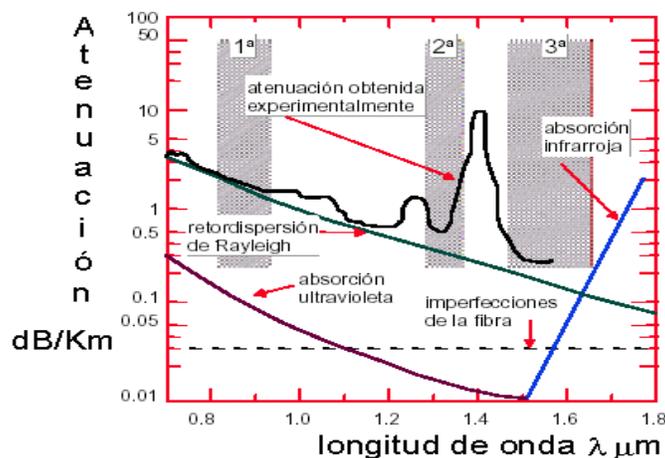


Figura II.4 Las características de atenuación dan lugar a las llamadas tres ventanas ópticas, a 850, 1310 y 1550 nm.

La tendencia actual es la utilización de láseres en la tercera ventana, en torno a los 1550 nm. La ventaja de esta utilización radica en una mayor vida del láser a medida que aumenta su longitud de onda.

Si se comparan las pérdidas por dispersión en las longitudes de onda para las telecomunicaciones ópticas (850, 1300 y 1550 nm) se observa que a 1300 nm las pérdidas ascienden a sólo 18% y a 1550 nm a sólo 9% del valor que tenían a 850 nm. Resulta pues ventajoso el servicio de los cables de fibras ópticas a estas longitudes de onda.

La siguiente tabla muestra los coeficientes de atenuación típicos de algunas fibras ópticas. Estos valores son típicos, sin embargo pueden variar entre fabricantes. Así mismo dependen ligeramente de las condiciones de temperatura.

λ	Tipo de Fibra	Dimensiones	α
850 nm	Multimodo de Índice Escalonado	62.5/125 μm	4.0
	Multimodo de Índice Gradual	62.5/125 μm	3.3
	Multimodo de Índice Gradual	50/125 μm	2.7
1300 nm	Multimodo de Índice Gradual	62.5/125 μm	0.9
	Multimodo de Índice Gradual	50/125 μm	0.7
	Monomodo	8.7/125 μm	0.5
1550 nm	Monomodo	8.7/125 μm	0.2

Tabla II.3 Coeficientes de atenuación típicos.

1.2.2.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN.

Para determinar el coeficiente de atenuación de un cable de fibra óptica es necesario medir la potencia luminosa en dos puntos distintos a condición de existir entre estos dos puntos un estado estacionario; quiere decir que el acoplamiento de la luz se debe efectuar



de tal forma que en la fibra monomodo no quede luz remanente en el recubrimiento y que en la fibra multimodo se produzca un estado de equilibrio en la distribución de los modos. Por este motivo, para la medición de la atenuación se utiliza principalmente la excitación al 70%.

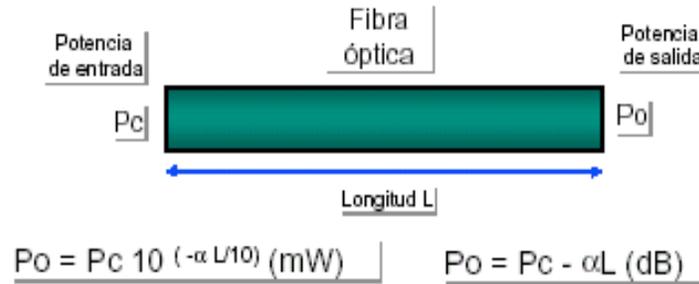


Figura II.5 Expresiones para la atenuación.

1.2.2.1.1. MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN POR TRANSMISIÓN DE LA LUZ.

Los métodos de medición de la atenuación por transmisión de la luz (figura II.6) utilizados son: *el método de corte (out back method)* y *el método de inserción (insertion loss technique)*.

En el *método de corte* se determina la potencia luminosa en dos puntos L_1 y L_2 de la fibra óptica, estando L_2 habitualmente ubicado en el extremo de la fibra y L_1 cerca de su comienzo. Cuando se realiza la medición, se mide primero la potencia lumínica P en el extremo L_2 (en Km) y luego L_1 (en Km). Para la medición en L_1 se debe realizar un corte en la fibra sin afectar las condiciones de acoplamiento entre la fuente luminosa (emisor) y la fibra óptica. El coeficiente de atenuación α para una fibra óptica se calcula con la expresión:

$$\alpha = \frac{10}{L_2 - L_1} * \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)} \quad \dots (34)$$

Este método es del tipo destructivo, ya que es necesario seccionar un corto tramo de fibra, lo cual no tiene sentido por ejemplo en cables preconfeccionados (provistos de conectores). En este caso es más ventajoso el *método de inserción*, en el cual se determina la potencia luminosa en el extremo de la fibra bajo medición para luego compararla con la potencia luminosa en el extremo de un tramo corto de fibra; este tramo corto se utiliza como referencia y debe tener las mismas características y conformación que la fibra óptica bajo medición. Cuando se efectúe la medición se debe verificar que las condiciones de acoplamiento al tramo de referencia sean, en lo posible, similares a los del cable bajo medición. A causa de estas restricciones, son menos exactas y reproducibles las mediciones efectuadas con el método de inserción que las que se obtienen con el método de cortes.

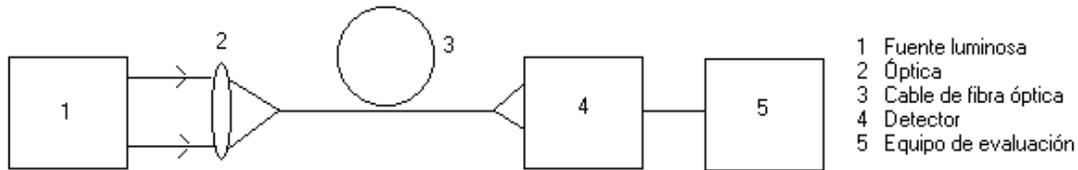


Figura II.6 Método de medición de la atenuación por transmisión de luz.

En el método de medición de la atenuación por transmisión de luz, la luz se acopla al principio del cable de fibra óptica (lado emisor), luego recorre el cable y finalmente se mide en el extremo de éste (lado receptor).

Se puede considerar como desventaja de este método el hecho de que la medición se efectúe en forma de sumatorio sobre el largo total de la fibra sin que con ello se obtenga ningún tipo de información sobre variaciones de la atenuación a lo largo del cable. Además deben ser accesibles ambos extremos del cable.

1.2.2.1.2. MÉTODO DE ACOPLADOR DE CURVATURA.

El método de acoplador de curvatura ofrece otra posibilidad para la medición de la atenuación y consiste en sujetar la fibra en el acoplador de curvatura. Para acoplar o desacoplar luz se requieren solamente algunos centímetros del cable de fibras ópticas, o sea los extremos no son necesarios para la medición. Dicho método, por lo tanto, permite una medición rápida y fácil de la atenuación de empalmes, acopladores y distribuidores ópticos, así como de los multiplex de longitud de ondas.

1.2.2.1.3. MÉTODO DE RETRODISPERSIÓN.

En el método de retrodispersión (back scattering technique) la luz se acopla y recibe en el mismo extremo del cable de fibra óptica (figura II.7). Además, este método suministra informaciones detalladas acerca de la variación de la atenuación a lo largo del cable bajo medición.

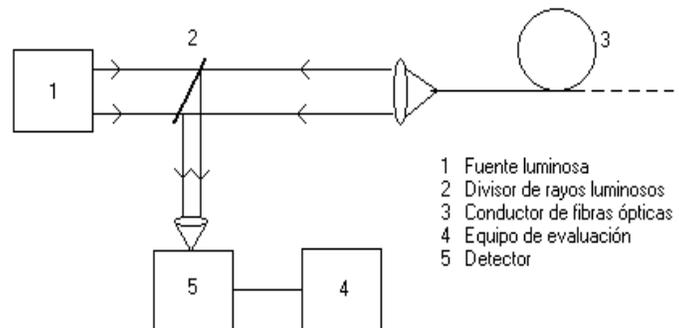


Figura II.7 Método de retrodispersión.

Este método de medición se basa en la dispersión de Rayleigh. Mientras que la fracción principal de la potencia luminosa se propaga hacia el extremo del cable, una pequeña



proporción se dispersa retornando hacia el emisor. Esta potencia luminosa retrodispersada experimenta, a su vez, una amortiguación en el trayecto de retorno. La luz remanente que llega al principio del cable, allí se desacopla y se mide por medio de un divisor de rayos (por ejemplo un espejo semitransparente). Con esta potencia luminosa retrodispersada y el tiempo de recorrido en el cable es posible trazar un diagrama del cual se desprende la variación de la atenuación a lo largo de todo el cable (figura II.8). En la pantalla de un osciloscopio se podrá observar fácilmente el recorrido de la señal retrodispersada en función del tiempo.

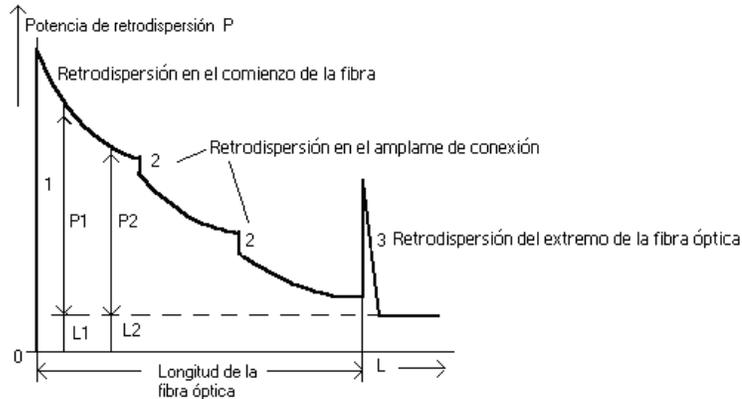


Figura II.8 Curva obtenida en una medición por retrodispersión.

Si el coeficiente de atenuación y el factor de retrodispersión son constantes a lo largo de la fibra óptica, se obtendrá una curva exponencial decreciente desde el comienzo del mismo. A causa del salto del índice de refracción al principio y al final de la fibra óptica, se retrodispersa allí una gran proporción de potencia lumínica que produce un pico al principio y otro al final de la curva. La diferencia de tiempos Δt entre ambos picos, la velocidad de la luz en el vacío C_0 y el índice de refracción de grupo $\eta_g \approx 1.5$ en el núcleo permiten calcular la longitud L de la fibra óptica:

$$L = \Delta t * \frac{C_0}{\eta_g} \quad \dots (35)$$

- L Longitud de la fibra óptica en Km.
- Δt Diferencia de tiempos entre el pico del pulso inicial y el final en seg.
- C_0 Velocidad de la luz en el vacío 300000 Km/s.
- η_g Índice efectivo de refracción del grupo en el núcleo.

El coeficiente de atenuación α de un tramo parcial de la fibra óptica desde L_1 hasta L_2 se calcula con la expresión:

$$\alpha = \frac{5}{L_2 - L_1} \cdot \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)} \quad \dots (36)$$



Si se compara la ecuación anterior con la obtenida en el método por transmisión de luz, se observará que en el presente caso el factor 5 se debe a que la luz recorre el cable dos veces. Esta ecuación es válida a condición que el factor de retrodispersión, la apertura numérica y el diámetro del núcleo no varíen a lo largo de la fibra.

Los instrumentos que trabajan basados en el principio de retrodispersión se llaman *reflectómetros* (Optical Time Domain Reflectometer OTDR) o *puesto de medición de la retrodispersión*. Con esta medición, además de determinar los coeficientes de atenuación, se verifica la localización de todos los puntos de discontinuidades (puentes) y pérdidas en empalmes (saltos de atenuación por uniones efectuadas con conectores o empalmes fijos) de la fibra óptica.

1.2.3. ANCHO DE BANDA.

Los dos parámetros más importantes que definen características de transmisión en un cable de fibra óptica son la atenuación α y el ancho de banda (bandwidth) β o bien el producto de longitud y ancho de banda b_l como parámetro utilizado en la práctica. Mientras que con la atenuación se describen las pérdidas de luz que se producen a lo largo del cable de fibra óptica, el ancho de banda constituye una medida de su comportamiento dispersivo.

El ancho de banda es la capacidad del medio para transportar la información, y esta, es inversamente proporcional a las pérdidas:

Mayor Ancho de Banda = Pérdidas más bajas.

El ancho de banda es un indicador de la cantidad de datos que pueden transmitirse en determinado periodo de tiempo por un canal de transmisión, por ejemplo un radiotransmisor, una antena parabólica o el cableado que conecta a dos computadoras. Por lo general, el ancho de banda se expresa en ciclos por segundo (hercios, Hz), o en bits por segundo (bps).⁶

Debemos tener presente el significado del uso de la luz y de las frecuencias luminosas en las comunicaciones. Si consideramos el hecho de que para la transmisión de información es necesaria una pequeña banda de frecuencias (quizás del orden de los kilohertzios), pensemos entonces en la cantidad de bandas que puede contener la región luminosa del espectro de frecuencias sin que se interfieran unas con otras. Además, como las bandas pueden hacerse más anchas, es posible transmitir información a velocidades mayores. Podrían llegar a usarse velocidades del orden de los GHz e incluso superiores y aún así quedaría una anchura de banda suficiente para poder manejar un gran número de canales simultáneamente. En los sistemas de fibra óptica pueden enviarse datos digitales y analógicos de manera conjunta sin ningún tipo de problemas. Esto significa que los costos

⁶ Ancho de Banda," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009*. © 1993-2008 Microsoft Corporation.



son menores que con los cables de cobre, hay también menor diafonía e interferencias, una menor cantidad de cables significa que casi inevitablemente, más tarde o más temprano todos los canales de comunicaciones telefónicas utilizarán este medio para la transmisión de datos, teléfono, telégrafo y señales de video.

1.2.3.1. METODOS DE MEDICIÓN.

La medición del ancho de banda en el cable de fibras ópticas multimodo depende de las condiciones de excitación de los modos, es decir de la forma de acoplarse la luz a dicho cable. Si por ejemplo se irradia puntualmente luz con una apertura lo más pequeña posible sobre una reducida superficie del núcleo, solamente se excitarán los modos que allí se encuentren y se podrán analizar especialmente sus tiempos de propagación. Este método se denomina medición DMD (Differential Mode Delay). Este método permite analizar si los perfiles de índices de refracción se acercan al ideal sin dispersión modal.

1.2.3.1.1 MEDICIÓN EN EL ÁMBITO DEL TIEMPO.

Las mediciones en el ámbito del tiempo se efectúan analizando el ensanchamiento de los pulsos ocasionados por los efectos de la dispersión en el cable de fibra óptica. Para efectuar esta medición se acopla un pulso de corta duración (valor típico 100 ps) al cable bajo observación. Este pulso entrante al propagarse por el cable de fibra óptica se ensancha a causa de la dispersión modal y en el material. El pulso de salida resultante actúa sobre el fotodiodo del receptor que lo amplifica y luego es analizado en un osciloscopio. Para determinar el pulso de entrada se debe repetir la medición sobre un tramo corto (aproximadamente 2 m) y libre de perturbaciones.

Con los datos obtenidos en el osciloscopio, se determina el ensanchamiento efectivo del pulso con la siguiente expresión:

$$\Delta T = \sqrt{T_2^2 - T_1^2} \quad \dots (37)$$

y el valor aproximado del ancho de banda con:

$$B \approx \frac{0.375}{\Delta T_{ef}} \quad \dots (38)$$

1.2.4. DISPERSIÓN.

La **Dispersión**, se puede definir como: el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a todas las ondas; por ejemplo, a las ondas sonoras que se



desplazan a través de la atmósfera, a las ondas de radio que atraviesan el espacio interestelar o a la luz que atraviesa el agua, el vidrio o el aire.⁷

La dispersión se debe a que la velocidad de una onda depende de su frecuencia (y por tanto de su longitud de onda). Por ejemplo, las ondas luminosas de diferente longitud de onda tienen velocidades de propagación distintas en el vidrio, por lo que son refractadas en diferente medida.

En las fibras ópticas, la dispersión supone un problema. Cada pulso luminoso se compone de un intervalo de frecuencias, que avanzan por la fibra con velocidades ligeramente distintas. Esto aumenta la duración del pulso de llegada, haciendo más difícil separarlo de los pulsos siguientes.

Si en la fibra se llega a producir un alargamiento en la duración de los pulsos luminosos, pueden mezclarse dos pulsos sucesivos diferentes en la entrada de la fibra y con esto hacer que la información se pierda. El alargamiento provocado por la fibra reduce de manera considerable, en este caso, la frecuencia máxima a la cual es posible emitir pulsos y, por tanto, limita la capacidad de una fibra para transportar información. La dispersión es el parámetro que define la capacidad máxima que, por unidad de longitud, se puede transmitir por una fibra.

En general hay tres tipos de dispersión y son:

- ↪ **Dispersión Modal:** Conocida como Dispersión Multimodo o MD (Modal Dispersion), y solo afecta a las Fibras Multimodo, es causada por los diferentes modos que siguen rutas distintas en la fibra, esto provoca que los rayos recorran distancias en tiempos diferentes.
- ↪ **Dispersión Cromática:** La Dispersión Cromática también conocida como CD (Chromatic Dispersion), se subdivide en dispersión intramodal o del material y en dispersión por efecto de guía de onda. Por lo que la dispersión cromática es la suma de ambas.
- ↪ **Dispersión por Modo de Polarización:** Este tipo de dispersión que también se le conoce como PMD (Polarization Mode Dispersion), es introducido por las fibras que tienen una imperfección en la concentricidad. Como consecuencia diferentes polarizaciones de la señal óptica tienen diferentes retardos de propagación.

Todos los efectos de la dispersión pueden ser caracterizados en el dominio del tiempo (ps/[ns*Km]), o en el dominio de la frecuencia (MHz x Km).

⁷"Dispersión," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009*. © 1993-2008 Microsoft Corporation.



1.2.4.1. Dispersión Modal

La dispersión modal, o *dispersión intermodal*, determina la capacidad de ancho de banda de las fibras multimodo. Las velocidades de grupo de los diferentes modos varían y conducen a un ensanchamiento del retardo de grupo o dispersión intermodal. El máximo retardo viene dado por la expresión:

$$\frac{\tau}{L} = \frac{\Delta n}{2c} = \frac{(NA)^2}{2nc} \quad \dots (39)$$

Los límites de la dispersión son proporcionales, por tanto, al cuadro de la apertura numérica. Para fibras de índice gradual con perfil parabólico, el valor máximo está dado por:

$$\tau = \frac{L\eta_1\Delta^2}{20\sqrt{3}C} \quad \dots (40)$$

1.2.4.2. Dispersión Cromática

La **dispersión cromática** describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual puede producir una inaceptable velocidad del bit.

El fenómeno de la dispersión cromática surge debido a dos razones:

- ↪ **Material:** Es el principal causante de la dispersión, y consiste en que el índice de refracción del silicio, material usado para fabricar las fibras ópticas, depende de la frecuencia. Por ello, las componentes de distinta frecuencia, viajan a velocidades diferentes por el silicio.
- ↪ **Guía de Onda:** Para comprender esta componente hay que recordar que la potencia de un modo se propaga parcialmente por el núcleo y parcialmente por el revestimiento. El índice efectivo de un modo se sitúa entre el índice de refracción del núcleo y del revestimiento, acercándose más a uno u otro dependiendo de cuál sea el porcentaje de la potencia que se propaga por ellos (si la mayor parte de la potencia está contenida en el núcleo, el índice efectivo estará más cerca del índice de refracción del núcleo). Como la distribución de la potencia de un modo entre el núcleo y el revestimiento depende de la longitud de onda, si la longitud de onda cambia, la distribución de potencia también cambia, provocando un cambio en el índice efectivo o constante de propagación del modo.

La figura II.9 muestra como la dispersión cromática cambia con la longitud de onda para tres diferentes tipos de fibra.

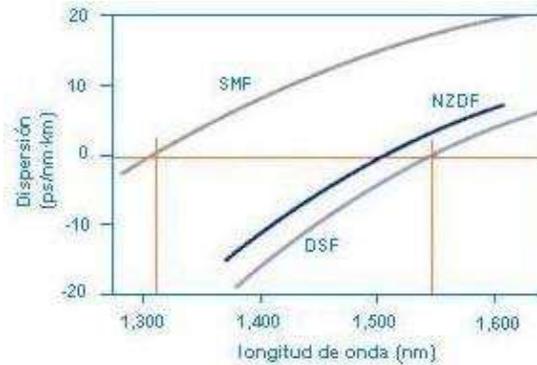


Figura II.9 Dispersión Cromática contra Longitud de Onda.

La dispersión cromática de una fibra consiste de dos componentes **Material y Guía de Onda**; en la figura II.10, se muestra como varía la dispersión en tres tipos de fibra en función del componente material; el cual depende de las características de dispersión de los dopantes y del silicio de construcción. Estos materiales no ofrecen mucha flexibilidad a ajustes significantes en la dispersión de la fibra, así que ese esfuerzo se ha enfocado en alterar la dispersión de guías de ondas de las fibras ópticas.

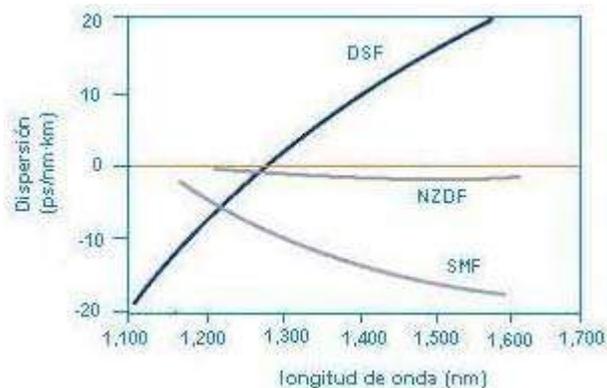


Figura II.10. Variación de la Dispersión según materiales y tipos de guía de onda.

La fibra **SMF** (Single Mode Fiber) es la fibra monomodo estándar. En cambio existen otros tipos de fibra como la **DSF** (*Dispersion Shifted Fiber*) cuya dispersión esta desplaza que permiten tener una dispersión nula en la tercera ventana como se muestra en la figura anterior. La fibra **NZDF** (*NonZero Dispersion Fiber*) se caracteriza por tener una dispersión muy próxima a cero en tercera ventana pero no nula. La utilidad de este tipo de fibras es que buscan tener algo de dispersión cromática que pueda compensar los efectos producidos por los fenómenos no lineales.

Los principales métodos para compensar los efectos de la dispersión cromática son:

El empleo de **fibras compensadoras de dispersión**. Como se explica anteriormente existen fibras especiales cuyo diseño reduce o anula la dispersión en la tercera ventana como **DSF** (*Dispersion Shifted Fiber*) y la fibra **NZDF** (*NonZero Dispersion Fiber*).



Existe otro tipo de fibras que tienen un valor de dispersión elevado y de signo contrario al de las fibras monomodo estándar, de esta forma alternando tramos de fibras SMF y de fibras compensadoras de dispersión se obtiene en conjunto una dispersión nula. El problema de estas fibras es su mayor atenuación y un agravamiento en los efectos de los fenómenos no lineales.

1.2.4.3. Dispersión por Modo de Polarización.

La **Polarización** es la propiedad de la luz la cual está relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica puede vibrar en uno o dos modos de polarización.

La **figura II.11** muestra los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (**PMD, Polarization Mode Dispersion**); es típicamente medida en pico-segundos. Si no es propiamente controlada, la **PMD** puede producir errores excesivos en los bits para la transmisión en sistemas digitales y que pueden distorsionar señales de video transmitidos usando formato de modulación de amplitud analógica.

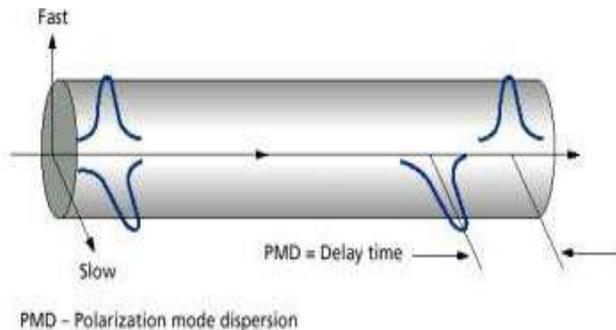


Figura II.11 PMD en la fibra óptica.

1.2.5. LONGITUD DE ONDA LÍMITE.

En un cable de fibras ópticas se propagan uno o varios modos, según su longitud de onda. Para el funcionamiento de un cable de fibra óptica es importante determinar a partir de qué longitud de onda conduce únicamente el modo fundamental. Se define como **longitud de onda límite** (cut-off wave length) la mínima longitud de onda de servicio a la cual es capaz de propagarse solamente el modo fundamental. Por encima de esta longitud de onda λ_c desaparece el siguiente modo de orden superior. A menores longitudes de onda, por debajo de λ_c , se le agregan otros modos. Por lo tanto el conductor de fibras ópticas se comporta como uno multimodo a longitudes de onda menores que λ_c y como uno monomodo a las superiores.

1.2.5.1. MÉTODO DE MEDICIÓN POR VARIACIÓN DE CURVATURA.

El método de medición por variación de curvatura es muy utilizado para determinar la longitud de onda límite. Consiste en medir espectralmente la potencia lumínica en un tramo de 2 m del cable de fibras ópticas bajo análisis, primero con el cable lo más extendido posible (radio de curvatura mayor a 140 nm) y luego formando una espira alrededor de un mandril de 30 mm de diámetro. Con los valores medidos se calcula la atenuación producida por la espira en función de la longitud de onda y estos resultados se grafican en un diagrama como el de la figura (II.12). Se obtienen varios máximos pronunciados de la atenuación con flancos abruptos hacia las mayores longitudes de onda. Estos flancos señalan las longitudes de onda límites de los modos inferiores. La longitud de onda límite λ_c del modo de orden superior inmediato al fundamental, será aquella longitud de onda a la cual el flanco del máximo de mayor longitud de onda desciende por debajo de un valor de 0.1 dB en la atenuación.

El valor de λ_c medido con este método no es sólo una propiedad de la constitución del cable; también depende de la longitud con la cual se efectuó la medición. Se observa que cuanto más cortos son los cables de fibra óptica, tanto más grandes son sus longitudes de onda límite.

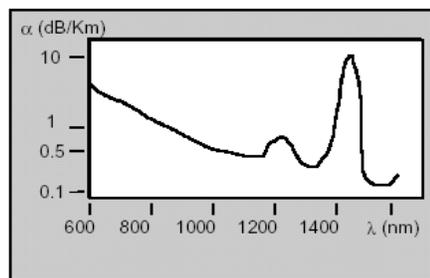


Figura II.12 Gráfica de los valores de la atenuación.

1.2.6. DIÁMETRO DEL CAMPO.

La distribución del modo fundamental es de suma importancia para evaluar las pérdidas resultantes de acoplamientos, curvaturas y empalmes de un conductor de fibras ópticas monomodo. Para caracterizar esta distribución se definió al radio del campo de modos, en forma abreviada, radio del campo w_0 o al diámetro del campo $2w_0$ (figura II.13).

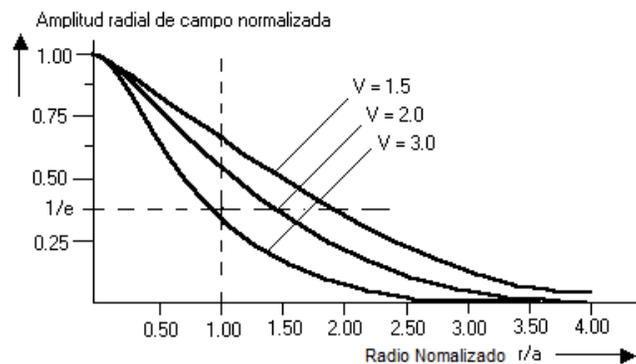


Figura II.13 Variación de la amplitud de campo del modo fundamental en función del radio.



Se designa con w_0 al radio al cual la amplitud radial del campo se reduce a $1/e$ ($\approx 37\%$ pues $e = 2.71828$) de su valor máximo en el eje del cable de fibra óptica ($r = 0$).

El diámetro del campo es una función directa de la longitud de onda. El radio del campo w_0 referido al radio del núcleo a es únicamente función del parámetro estructural V que depende de la longitud de onda λ y de la apertura numérica AN con la siguiente relación:

$$V = \pi \cdot \frac{2a}{\lambda} \cdot AN \quad \dots (41)$$

Para el cable de fibras ópticas monomodo se puede utilizar una fórmula que, 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 a y el parámetro estructural:

$$w_0 \approx \frac{2.6}{V} a \quad \dots (42)$$

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 servicio de 1300 nm y 1550 nm.

1.2.6.1. MÉTODO DEL DESPLAZAMIENTO.

Existen diferentes métodos para la medición del diámetro de campo. En general se utiliza el “método del desplazamiento” (offset-method). En él se acopla un tramo de 2 m del cable de fibra óptica bajo observación a un banco de medición de niveles que permite determinar la potencia lumínica en función de la longitud de onda. Luego se quiebra la probeta por el medio y los dos extremos se colocan en sendos soportes de un microposicionador de tal forma que se enfrenten con una separación menor a un diámetro del núcleo. Con el microposicionador se desplaza uno de los extremos hasta que en el receptor del banco de medición de niveles se comprueba un máximo en la transmisión luminosa. A continuación se registra el sobreacoplamiento de luz en función del desplazamiento de los extremos del cable, desplazando uno de los extremos en dirección radial con pasos iguales registrando la potencia lumínica decreciente. El diámetro en $1/e$ de la curva resultante da el diámetro de campo $2w_0$ (figura II.14).

La longitud de onda para la medición del diámetro de campo se fijó en 1300 nm. Si se mide el diámetro de campo o el radio de campo en función de la longitud de onda, se obtiene una curva como la ilustrada en la figura (II.15) para un cable de fibra óptica monomodo típico.

La abrupta caída del valor del diámetro de campo $2w_0$ en 1200 nm marca la longitud de onda límite λ_c del modo fundamental.

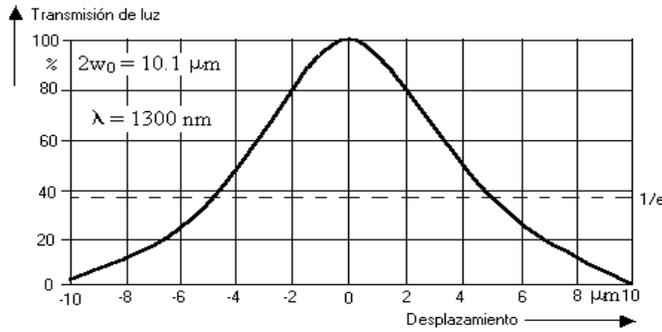


Figura II.14 Determinación del diámetro de campo con el método del desplazamiento.

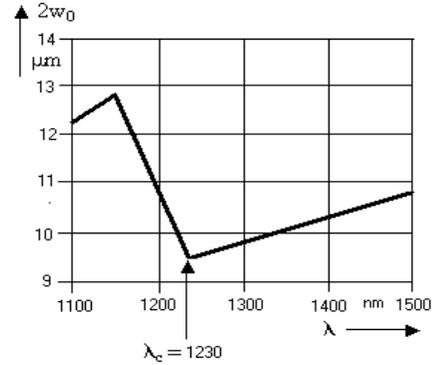


Figura II.15 Diámetro de campo en función de la longitud de onda.

1.2.7. CAMPO LEJANO.

Bajo campo lejano (far field distribution) de un cable de fibras ópticas se entiende la distribución de la potencia lumínica $I_F(\theta)$ irradiada en el extremo del cable, con respecto al ángulo θ referido al eje óptico.

1.2.7.1. MÉTODO DE MEDICIÓN.

Para la medición del campo lejano se puede utilizar una y radiación similar a la utilizada para el campo cercano. No se utiliza el microscopio y el receptor debe tener un dispositivo que permita girarlo en torno al extremo de salida del cable. En consecuencia se mide la potencia lumínica en función del ángulo θ (figura II.16).

Como resultado de la medición se obtiene en general una radiación de la intensidad del campo lejano con forma gaussiana. A partir de la misma, y con ayuda de ángulo máximo de radiación $\theta_{\text{máx}}$, se puede determinar la apertura numérica:

$$AN = \text{sen } \theta_{\text{máx}} \quad \dots (43)$$

La medición de $\theta_{\text{máx}}$ es dificultosa a causa de la baja intensidad para este ángulo máximo de irradiación. Por tanto, para el cálculo de este ángulo, o bien se traza una tangente a la curva de intensidad y se define $\theta_{\text{máx}}$ como el ángulo entre esta tangente y la abscisa, o bien se aproxima $\theta_{\text{máx}}$ al ángulo existente con un 10% de intensidad.

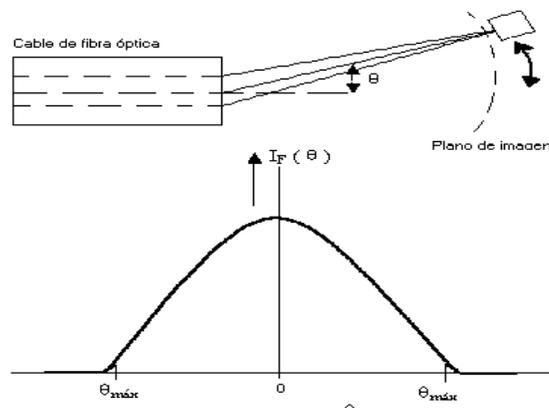


Figura II.16 Medición del campo lejano.

1.2.8. RESISTENCIA MECÁNICA.

A lo largo del cable de fibra óptica se pueden producir puntos mecánicamente débiles a causa de inhomogeneidades en el vidrio o en virtud de perturbaciones en su superficie. Dado que estas irregularidades del cable se pueden registrar solamente en forma estadística, las comprobaciones sobre la resistencia mecánica serán sólo de tipo probabilístico. Además la rotura de un cable de fibra óptica a partir de uno de estos puntos débiles es un proceso que depende del tiempo.

El término también se aplica a la resistencia a la tracción, y se define como la fuerza por unidad de sección que resiste un cuerpo antes de romperse. En teoría, la máxima resistencia longitudinal la presentan los cristales puros, en los que la fuerza longitudinal sería la requerida para romper las moléculas. De hecho no existe una resistencia tan alta debido a defectos de las estructuras cristalinas, que en realidad son conjuntos de cristales, o debido a las impurezas que suelen estar presentes.⁸

1.3. FABRICACIÓN DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA.

Para optimizar en forma metódica las características mecánicas, geométricas y ópticas de un conductor de fibras ópticas su fabricación se efectúa, habitualmente, en procesos de varias etapas. Además esta forma de fabricación permite una producción en grandes series, rápida y rentable, hoy en día premisas fundamentales para la técnica actual de telecomunicaciones con fibra óptica.

En casi todos los procesos actuales se fabrica en primer lugar una preforma (preform). Se trata de una varilla de vidrio con núcleo y revestimiento. Observando la sección de la preforma se ve que la misma es una ampliación a escala de las dimensiones geométricas y del perfil de índices de refracción del cable de fibras ópticas que se elabora con la misma. Calentando intensamente un extremo se estira la preforma hasta obtener el cable fibra óptica final; simultáneamente se aplica el recubrimiento que hace las veces de cubierta protectora de la fibra.

⁸"Resistencia longitudinal," Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.



1.3.1. FABRICACIÓN DE LA PREFORMA.

1.3.1.1. MÉTODO DE FUSIÓN DE VIDRIO.

Uno de los primeros procesos que se utilizaron para la fabricación de cables de fibra óptica fue el método de *varilla en tubo* (rod in tube). En el mismo se introduce una varilla de vidrio de cuarzo de alta pureza como núcleo en un tubo que hace de revestimiento y que está formado por vidrio de cuarzo con bajo índice de refracción. Las dimensiones de la varilla y del tubo son tales que prácticamente no queda espacio entre ambos. 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 a 1000 dB/Km) y además sólo se pueden fabricar fibras ópticas multimodo con perfil escalonado.

Para evitar este problema, en otro método de fabricación los vidrios correspondientes al núcleo y al revestimiento son unidos en estado 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 denomina *método de los dos crisoles* (double crucible o compound melting) ya que los vidrios que se utilizan para el núcleo y el revestimiento se funden en dos crisoles separados. Se utilizan vidrios de alta pureza con varios componentes como por ejemplo, el silicato alcalino de plomo y borsilicato sódico.

También se pueden fabricar cables de fibras ópticas con perfil gradual por fusión o intercambio de iones entre los vidrios del núcleo y del revestimiento (Método Selfoc). Resulta imposible mantener totalmente limpio el interior de los crisoles y así, las impurezas que por esta causa llegan al cable de fibras ópticas se agregan a los metales de transición ya existentes incrementando así la atenuación (entre 5 y 20 dB/km a 850 nm). Este método de producción se utiliza especialmente para la fabricación de cables de fibras ópticas con núcleo de gran diámetro ($\geq 200 \mu\text{m}$).

El método de la *Separación de fases de vidrio* (phase separable glass o phasil method) consiste en formar una varilla de vidrio de borsilicato sódico a 1200°C manteniéndola a continuación durante algunas horas a 600°C, produciéndose una transformación de una fase de vidrio de borato de sodio en una matriz de vidrio de SiO₂. En la fase de vidrio de borato de sodio se concentran los metales de transición como por ejemplo Fe y Cu, los que posteriormente se eliminan por medio de ataque de ácidos 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 la somete a lavado externo. El dopado con cesio incrementa en el interior el índice de refracción. La región lavada forma el revestimiento. Este método permite fabricar cables de fibras ópticas con perfil escalonado y gradual con una atenuación de 10 hasta 50 dB/Km a 850 nm.

Otro método utilizado para la fabricación de preformas consiste en tomar una varilla de vidrio de cuarzo comercial sólo para el núcleo y aplicarle, mientras se la estira, un *Revestimiento de plástico transparente* (Plastic Clad) de bajo índice de refracción. Con este procedimiento se obtienen cables de fibras ópticas con atenuaciones de 5 hasta 50 dB/Km a 850 nm.



1.3.2. FABRICACIÓN DE LA PREFORMA POR DEPOSICIÓN DE VIDRIO A PARTIR DE LA FASE GASEOSA.

Solo con los diferentes procesos de *deposición a partir de la fase gaseosa* (vapor deposition) se logró fabricar cables de fibras ópticas con atenuaciones extremadamente reducidas. La deposición puede efectuarse de diferentes formas: sobre la superficie externa de una varilla de substrato en rotación (Método OVD, outside vapor deposition), sobre la superficie frontal de una varilla de cuarzo (Método VAD, vapor axial deposition) o, sobre la superficie interior de un tubo de vidrio de cuarzo en rotación (Método IVD, inside vapor deposition). En este último método se puede suministrar la energía para la deposición del vidrio ya sea desde afuera por medio de un quemador de gas detonante (MCVD, modified chemical vapor deposition) o desde adentro con una llama de plasma (PCVD, plasma activated chemical vapor deposition).

1.3.2.1. MÉTODO OVD (Outside Vapor Deposition).

La fabricación de preformas por el método OVD se efectúa en dos etapas. En primer lugar se hace con un dispositivo adecuado una *varilla de substrato* de vidrio de cuarzo Al_2O_3 o grafito en torno de su eje longitudinal (figura II.17), al tiempo que se le calienta en una estrecha zona desde afuera con la llama de un quemador de gas detonante o gas propano.

Junto con las sustancias dopantes requeridas por el perfil de índices de refracción como por ejemplo, metales halogenados (SiCl_4 , GeCl_2 , BCl_3 , PCl_3) se le suministra oxígeno (O_2) al quemador, en el cual estos compuestos se convierten en los correspondientes óxidos. Estos, a su vez, se depositan sobre la varilla rotante en forma de finas partículas.

Si además proporcionando al quemador un movimiento de vaivén en sentido longitudinal, se obtiene por capas una *preforma porosa de vidrio*. Cada una de estas capas se puede dopar en forma diferente agregando en determinada proporción distintas sustancias dopantes a la sustancia básica SiO_2 . Así por ejemplo se reduce para los perfiles graduales, continuamente desde la primera capa el dopado con GeO_2 con el cual se forma el núcleo hasta llegar al revestimiento con una deposición de SiO_2 puro. Para un perfil escalonado, se mantiene constante el dopado de cada capa.

El proceso finaliza una vez obtenida la deposición de suficientes capas para el núcleo y el revestimiento de la fibra al retirarse la preforma cilíndrica de la varilla de substrato. En una segunda etapa del proceso, se calienta por secciones toda la longitud de esta preforma tubular (fig. II.17). Con temperaturas entre 1400 y 1600°C la preforma se contrae convirtiéndose en una varilla de vidrio resistente, libre de burbujas y transparente, cuyo *hueco interior* (center hole o dip) se ha cerrado. Durante el sinterizado de la preforma se lava ésta con cloro gaseoso para quitar del vidrio todo vestigio de agua cuya presencia provocaría una elevada atenuación.

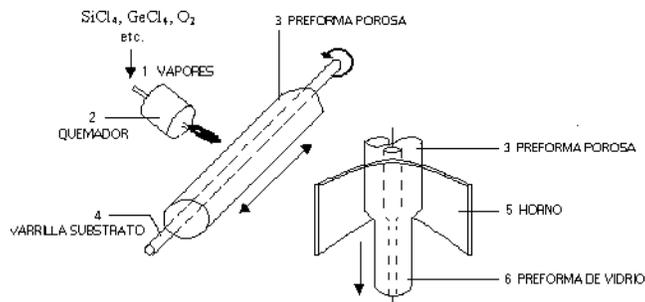


Figura II.17. Método OVD.

1.3.2.2. MÉTODO VAD (Vapor Axial Deposition).

En el método VAD, la deposición de las partículas provenientes de un quemador de gas oxhídrico tiene lugar sobre la cara frontal de una varilla rotante de vidrio de cuarzo (fig. II.18).

La preforma porosa resultante se estira en sentido ascendente de tal forma que se mantenga constante la distancia entre el quemador y la preforma que va creciendo en sentido axial. Para fabricar el perfil de índices de refracción del núcleo y del revestimiento se pueden utilizar varios quemadores simultáneamente. Es posible producir diferentes perfiles de índices de refracción según la construcción de los quemadores, su separación y la temperatura durante la deposición. El *colapso* (contracción) de la preforma se produce con la ayuda de un calefactor anular después de la deposición, quedando la preforma transparente. Para *secar* la preforma, es decir eliminar la humedad residual, se hace circular cloro gaseoso en torno de la misma.

Para obtener cables de fibras ópticas con revestimiento de mayor espesor, as continuación del método varilla-tubo se puede empujar un tubo de vidrio de cuarzo encima de la preforma.

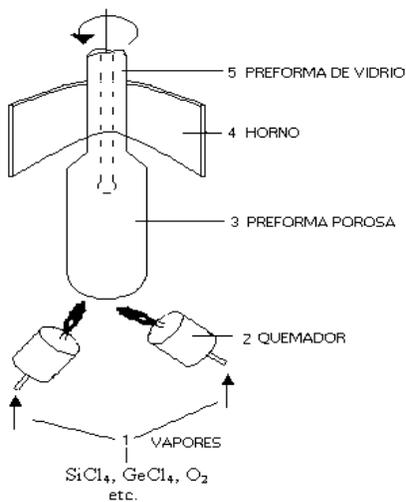


Figura II.18 Método VAD



1.3.2.3. MÉTODO MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition).

La fabricación de preformas por medio del método MCVD se realiza en dos etapas.

En primer lugar se hace un *tubo de vidrio de cuarzo* alrededor de su eje longitudinal en un dispositivo adecuado al tiempo que se calienta una estrecha zona del mismo desde afuera por medio de un quemador de gas detonante que se desplaza a lo largo del tubo (fig. II.19).

A través del interior del tubo se hace pasar el oxígeno y los compuestos de halogenuros gaseosos (SiCl_4 , GeCl_4 , PCl_3) requeridos para el respectivo dopado. Por este motivo los compuestos de halogenuros se descomponen en el interior del tubo y no en la llama del quemador, como ocurre en los métodos OVD y VAD. Por esta causa se produce en la cara interior del tubo la deposición de numerosas y delgadas capas que se pueden dopar según el perfil de índices de refracción requerido. El propio tubo constituye la sección externa del vidrio del revestimiento y las capas que se depositan en su interior conforman la sección interna del revestimiento y del núcleo.

Cada capa de vidrio se forma con la siguiente secuencia: a 1600°C y dentro de la zona de calentamiento se forman partículas finas que se depositan sobre la cara interior del tubo. Al ser desplazado el quemador en la dirección de flujo, las partículas se funden para formar una delgada y transparente capa de vidrio.

Una vez completada la deposición de las capas necesarias se pasa a la segunda etapa del método MCVD que consiste en calentar el tubo por secciones longitudinales hasta aproximadamente 2000°C . De esta manera se produce el colapso del tubo para formar la varilla. Si los gases que reaccionan en el interior del tubo se mantienen libres de hidrógeno, este método no requiere procesos especiales de secado ya que el gas utilizado para el calentamiento, que en general contiene una alta proporción de hidrógeno, sólo actúa sobre el exterior del tubo, no teniendo influencia sobre el proceso ningún otro factor ambiental.

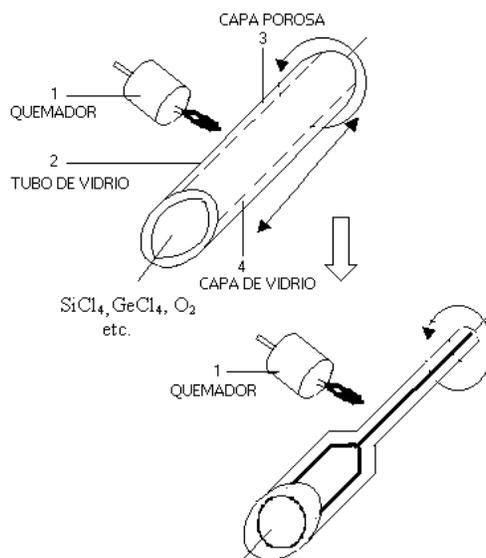


Figura II.19 Método MCVD.

1.3.2.4. MÉTODO PCVD (Plasma Activated Chemical Vapor Deposition).

En el método PCVD las preformas se producen con el mismo procedimiento que en el caso del método MCVD. La diferencia radica en la técnica empleada para la reacción. Por medio de la excitación de un gas, por ejemplo, con ayuda de microondas, se obtiene un plasma. En este proceso el gas se ioniza, es decir, se descompone en sus cargas eléctricas. Al reunificarse éstas, se libera calor que se utiliza para fundir materiales de elevado punto de fusión. Así en el proceso del plasma se disocian los halogenuros con ayuda de un *plasma de baja presión* (la presión en el gas es aproximadamente 10 mbar) y luego, con oxígeno, se forma SiO_2 . Las partículas formadas en este proceso (fig. II.20) se precipitan directamente a temperaturas del orden de los 1000°C , formando una capa de vidrio.

Dado que a la llama de plasma se le imprime un rápido movimiento de vaivén a lo largo del tubo, se pueden producir más de 1000 capas delgadas, lo cual permite incrementar la exactitud del perfil de índices de refracción.

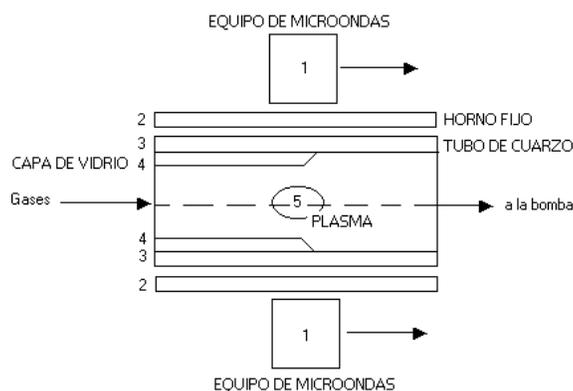


Figura II.20 Método PCVD.

1.3.3. ESTIRADO DE LA FIBRA.

Para el estirado de la fibra se coloca la preforma en el soporte de la torre de estirado (fig. II.21).

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 aproximadamente 2000°C , de tal forma que adquiera la viscosidad adecuada para estirar la fibra hacia abajo. La velocidad de estirado (valor típico 300m/min) y la del dispositivo de avance se deben ajustar 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 revestimiento aunque la reducción del diámetro de la preforma hasta el de la fibra estirada puede llegar a una relación de 300 a 1. Asimismo el perfil del índice de refracción se mantiene constante.

Directamente detrás del instrumento para la verificación del diámetro se aplica en torno de la fibra el recubrimiento. La envoltura de plástico, conformada normalmente por dos capas, protege a la fibra óptica contra microcurvaturas, mejora su resistencia y facilita su manejo, siendo la capa interna la que protege contra microcurvaturas y la externa la que facilita el manejo. Cuando el recubrimiento se ha endurecido por efecto de calor o radiación ultravioleta, el cable de fibras ópticas es sometido al *ensayo continuo* de resistencia a la tracción, haciendo pasar a las fibras ópticas con su recubrimiento por una serie de poleas las cuales ejercen sobre el mismo una tensión mecánica ajustable con gran precisión. El cable de fibras ópticas debe resistir esta carga mínima antes de ser bobinado en un tambor cilíndrico.

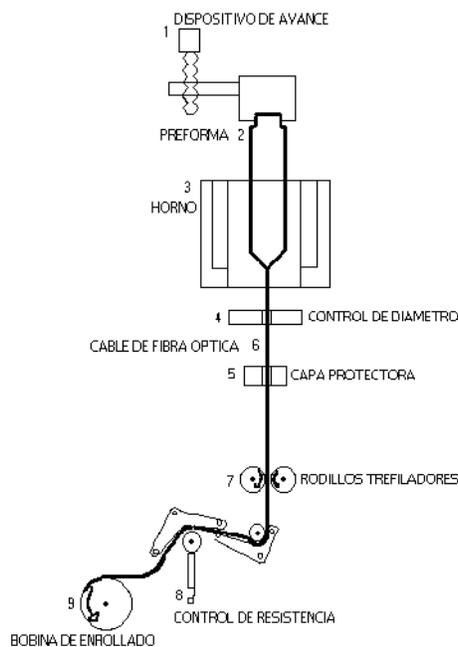


Figura II.21 Esquema del estirado de la fibra.

1.4. CABLES DE FIBRA ÓPTICA.

1.4.1. CABLES HUECOS.

Bajo cable o “conductor” hueco se entiende a un tubo extrafino de plástico (vaina) en cuyo interior se encuentra alojado, en forma estable, el conductor de fibras ópticas, con poco rozamiento y resistente a las deformaciones. La vaina también debe ser estable de forma, tenaz, resistente al envejecimiento y muy flexible. Además debe ser posible manejar el cable de forma similar a un cuadrete o un par coaxial en los cables tradicionales de cobre, sin que por ello el conductor de fibras ópticas se vea sometido a esfuerzos mecánicos apreciables. De esta forma, el conductor hueco presenta todas las características de un elemento básico utilizable universalmente.

La vaina está compuesta por una capa interior de protección con un coeficiente de rozamiento muy bajo y otra exterior que protege mecánicamente al conductor de fibras



ópticas. La utilización de diferentes materiales o combinaciones de materiales (por ejemplo poliéster y poliamida) posibilitan la adaptación a una amplia gama de condiciones ambientales.

El conductor de fibras ópticas se encuentra alojado con un juego de algunas décimas de milímetro y una longitud definida dentro de esta vaina protectora, la cual permite, además, la movilidad radial del conductor. Como la vaina es lisa en su exterior e interior, ofrece mínima resistencia al movimiento del conductor de fibras ópticas dentro del conductor hueco.

Suponiendo que el conductor de fibras ópticas y el conductor hueco tengan la misma longitud, se puede considerar que, con el trenzado de los conductores, el conductor hueco actúa como acumulador longitudinal que absorbe fácilmente el 0.4% y hasta un máximo del doble de la variación de longitud del cable sin que el conductor de fibras ópticas se vea sometido a esfuerzos de compresión o tracción.

Una ventaja especial del conductor hueco radica en la facilidad con que se le puede “desaislar” para efectuar empalmes o conexiones y que resulta muy útil cuando se prepara un empalme o la colocación de un conector.

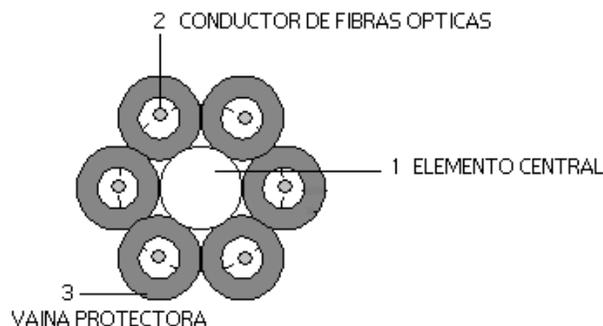


Figura II.22 Posición del conductor de fibras ópticas.

1.4.1.1. RELLENO.

Bajo determinadas condiciones ambientales existe la posibilidad de que, ante una rotura del cable de conductores de fibras ópticas, penetre agua en el conductor hueco y se escurra en su interior.

El agua puede llegar a congelarse y, a causa del incremento local de su volumen, ejercer presión sobre el conductor de fibras ópticas en numerosos puntos ocasionando *microcurvaturas*, las que, a su vez, pueden elevar en forma inadmisiblemente la atenuación. Para evitarlo se procede a rellenar el conductor hueco con una sustancia adecuada.

Se trata de una masa ligeramente tixotrópica⁹, químicamente neutra que, en el rango de temperatura de -30 a 70 °C, ni se congela ni se escurre fuera del conductor hueco; tampoco ataca al recubrimiento protector de las fibras ópticas y no provoca su hinchamiento. Esta masa (que se puede quitar y lavar fácilmente) no deja residuos que pudieran dificultar las conexiones del conductor de fibras ópticas y tampoco contiene sustancias inflamables.

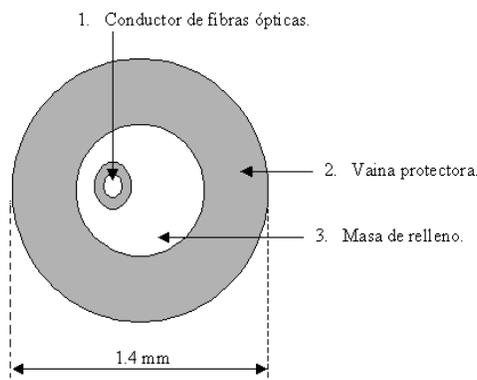


Figura II.23 Relleno del conductor hueco.

1.4.1.2. FABRICACIÓN.

Para el proceso de fabricación se trabaja con dos extrusoras dispuestas en tandem, las que en un proceso continuo elaboran el conductor hueco, formado por un tubo exterior y otro interior. Para garantizar que los espesores de las paredes de los tubos tengan los valores requeridos (solamente algunas décimas de milímetro), es necesario contar con un mecanismo de maniobra y control de funcionamiento exacto para extraer los materiales que formarán la protección de modo uniforme a unos 250 °C.

La ventaja de esta vaina de dos capas en comparación con la de una sola radica en la mayor libertad para elegir los materiales y sus posibilidades de combinación, las que permiten solucionar con mayor eficiencia los problemas térmicos y mecánicos.

Durante la producción de la vaina protectora, se le inyecta con una aguja y a presión constante, la masa de relleno que no debe contener inclusiones de aire ni de otras sustancias extrañas. En este proceso la coordinación de las longitudes exactas tanto del conductor hueco como de las fibras ópticas es el principal punto que se debe tener en cuenta.

Las bobinas convencionales, como las usadas para conductores de cobre, no sirven para embobinar conductores huecos. Las razones son, por una parte, su reducida capacidad y, por la otra, el que al embobinar pueden deslizarse diferentes capas unas encima o debajo de otras provocando condiciones indefinidas de compresión entre los conductores huecos con su consiguiente deterioro. Por los motivos expuestos, se efectúa el embobinado de los conductores huecos en platos o tambores, de gran capacidad, para varios kilómetros.

⁹ Tixotrópico: Susceptible a licuefacerse revolviendo, agitan (geles).

1.4.2. CONDUCTORES POR GRUPOS.

Tal como se describió anteriormente, los conductores huecos han probado su eficiencia práctica para albergar un único conductor de fibras ópticas. Estos tubos ultrafinos con un espesor de 1.4 mm se usan con preferencia para la configuración de cables con pocos conductores de fibras ópticas.

Con el conductor hueco se pueden diseñar y fabricar también cables con numerosos conductores de fibras ópticas. Sin embargo, a medida que aumenta el número de fibras, crece la complejidad de la configuración de los cables, los diámetros exteriores resultan relativamente grandes y en consecuencia estos cables son cada vez más pesados, o sea que en la práctica su manejo se vuelve cada vez más difícil.

Para reducir estas desventajas, en lugar de un solo conductor se introducen de dos a doce conductores de fibras ópticas monomodo o multimodo en una cubierta algo más grande (diámetro exterior 1.8 a 3.5 mm) formando un *conductor por grupos*.

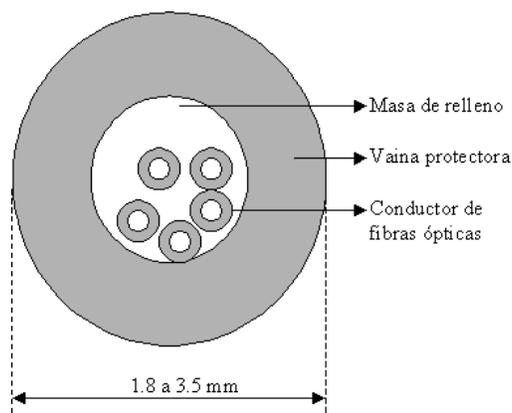


Figura II.24 Conductor por grupos.

El perfeccionamiento del grupo de conductores lo constituye el conductor por grupos. En un conductor de este el mayor diámetro exterior (valor típico 6 mm) pueden alojarse hasta 12 fibras ópticas trenzadas. Este grupo de conductores es utilizado como elemento básico para otros cables.

Los conductores huecos o en grupos de fibras ópticas se utilizan preferentemente en aquellas instalaciones en las cuales son muy elevadas las exigencias de calidad de transmisión aunque las influencias del medio ambiente sean muy variadas.

1.4.2.1. FABRICACIÓN.

En la fabricación de los conductores por grupos, se lleva a cabo el mismo procedimiento efectuado para la fabricación de los conductores huecos. Únicamente varía el dimensionamiento de la cubierta. Así, por ejemplo; la relación del diámetro exterior/interior para conductores huecos es de 1.4/0.85 mm y, para conductores por grupos es de 3.0/1.8 mm.

1.4.3. CONDUCTORES MACIZOS.

Una forma simple de proteger a las fibras ópticas de las influencias externas consiste en aplicar una cubierta sólida de materiales plásticos adecuados (fig. II.25) directamente sobre la cubierta protectora de las fibras. Una configuración de este tipo se denomina *conductor macizo* logrando con esta construcción de conductores una reducción considerable del diámetro exterior con respecto a los conductores huecos.

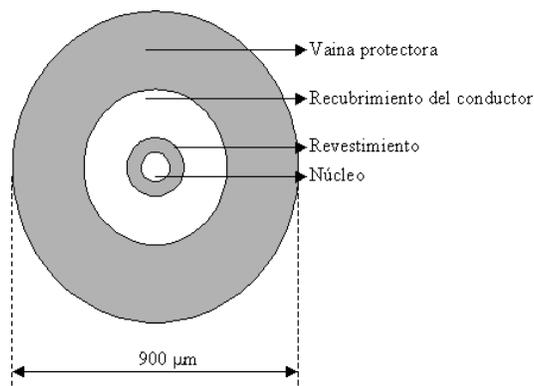


Figura II.25 Conductor macizo.

Sin embargo, en caso de producirse elevadas cargas por tracción, los consiguientes alargamientos elásticos del cable se pueden transmitir directamente a las fibras ópticas ya que falta la necesaria reserva de longitud que existe en los cables con conductores huecos. Esta desventaja se puede compensar parcialmente con elementos de tracción de fibras de aramida en el cable.

Por otra parte, la penetración de agua en el conductor puede tener un efecto negativo sobre el conductor de fibras ópticas, en caso de que la temperatura descienda bajo cero. En este caso, el agua congelada ejerce una compresión mecánica sobre el conductor de fibras ópticas que puede causar peores valores de transmisión o hasta destruir el conductor de fibras ópticas.

Un conductor de fibras ópticas dentro de un conductor hueco posee una cierta longitud excesiva y está protegido contra la penetración de agua por el relleno en el conductor.

Si se compara con el conductor hueco, el conductor macizo tiene menor diámetro y menos peso. Es más elástico y se puede desprender fácilmente del conductor de fibras ópticas la cubierta protectora del mismo y, por lo tanto, el conductor macizo es más fácil en cuanto a su instalación y confección (o sea montar un conductor).

1.4.3.1. FABRICACIÓN.

En la producción de conductores macizos (con un diámetro exterior de 900 µm) generalmente se extrusiona la cubierta protectora directamente al conductor de fibras ópticas, que tiene un diámetro de 250 µm.



Para aplicar esta monocapa al conductor de fibras ópticas existen, en forma similar a la fabricación de conductores huecos, un procedimiento vertical y otro horizontal. Para posibilitar el fácil desprendimiento de la cubierta protectora, se inyecta una capa fina (5 hasta 10 μm) de teflón sobre el conductor de fibras ópticas desprotegido (250 μm) antes de extrusionar la capa protectora.

1.5. COMPOSICIÓN DE LOS CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS.

Las múltiples aplicaciones de los cables de fibras ópticas en las telecomunicaciones por cable requieren las más variadas composiciones o configuraciones de los cables. Se han establecido las correspondientes dimensiones y materiales para su diseño. Partiendo de las características constructivas de las fibras ópticas, en la etapa del diseño del alma del cable, del revestimiento y, de ser necesario, de la armadura y la vaina protectora, se determinan las características de estos elementos para lograr que el cable de fibras ópticas tenga una elevada confiabilidad y larga vida útil. Se debe prestar especial atención a que los cables de fibras ópticas no sean dañados por la acción del medio ambiente, por ejemplo, las variaciones de temperaturas y los requerimientos mecánicos.

1.5.1. ALMA DEL CABLE.

Para aumentar la estabilidad de los cables de fibras ópticas con conductores huecos o por grupos, se trenzan éstos en torno de un *elemento central* que actúa como núcleo del cable y que puede servir tanto de soporte (protección contra dobladuras) como para compensar el esfuerzo de tracción. Es principalmente dicho *trenzado* el que confiere a las fibras ópticas el espacio libre definido que tienen dentro de los cables. En ese espacio libre, los requerimientos de tracción, compresión, aplastamiento y flexión que se producen dentro del marco especificado no influyen sobre las características de transmisión en conductores huecos, macizos o por grupos, se pueden incluir en el trenzado unos *elementos ciegos*, es decir cables sin fibras ópticas o elementos formados completamente por polietileno, así como *cables de cobre* como pares o cuadretes. Se denomina *alma del cable* al conjunto de los *elementos de trenzado*, de soporte y de tracción y, de existir, la envoltura que cubre a todos estos elementos.

1.5.1.1. TRENZADO.

En la técnica de los cables de fibras ópticas se utiliza principalmente el trenzado por capas. En éste, los elementos trenzados se encuentran dispuestos en una o más capas concéntricas en torno de un elemento central. Existen dos formas de cableado:

- ↪ Trenzado a paso constante, los elementos se trenzan en una dirección y con ángulo constante con respecto al eje longitudinal del cable.



- ↪ Trenzado S - Z, se cambia la dirección del trenzado luego de una determinada cantidad de vueltas. Así, los elementos que se trenzan a lo largo del cable describen primero la forma de S y, tras el cambio, la de Z. En los lugares donde se producen los cambios estos elementos se encuentran paralelos al eje del cable.

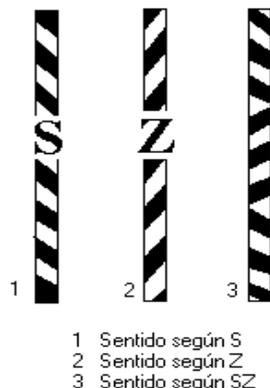


Figura II.26 Trenzado S-Z.

1.5.1.2. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN.

La dilatación y contracción deben ser limitadas con el fin de evitar que se originen variaciones inadmisibles de los parámetros de transmisión y se vea afectada la seguridad del conductor al ser utilizado dentro de los límites específicos de esfuerzos de tracción y de temperatura, a esto se debe la importancia de este punto.

1.5.1.3. RELLENO DEL ALMA.

El relleno del alma se hace con una masa de naturaleza que no afecte las características de los restantes elementos del cable, a los intersticios libres del alma, el cual se produce mediante altas presiones, con el fin de asegurar la hermeticidad longitudinal del cable de fibra óptica a la irrupción del agua.

1.5.2. VAINA DEL CABLE.

La vaina del cable debe proteger el alma formada por conductores de fibras ópticas de:

- ↪ Acciones mecánicas.
- ↪ Influencias térmicas.
- ↪ Ataque químico, así como de
- ↪ Acción de la humedad desde su exterior.

Al igual que en los cables convencionales existe toda una gama de vainas que se seleccionan en función de las eventuales influencias que actúan sobre el cable. En general se utiliza polietileno PE, de probada eficacia (con o sin envoltura protectora por ejemplo, de



aluminio). Además del polivinilo de cloruro PVC para cables interiores, se dispone para aplicaciones especiales de otros materiales para vainas como por ejemplo, propileno de perfluoretileno FEP, copolímero de perfluoralcoxi PFA y vinilacetato de etileno EVA.

Las vainas se pueden dividir en:

- ↪ **Vaina de Polietileno:** El polietileno (PE), se distingue por su baja constante dieléctrica y pequeños factores de pérdidas. Cubre todos los requerimientos usuales tanto mecánicos como químicos y se adapta especialmente para cables exteriores.
- ↪ **Vaina de PVC:** En general se utilizan para cables interiores vainas de polivinilo de cloruro. Generalmente el color de la vaina es gris. El PVC es apropiado para cables exteriores cuando se considera que la tierra contiene sustancias agresivas.
- ↪ **Vaina de plásticos fluorados:** El plástico fluorado de perfluoretileno (FEP), es una sustancia viscoelástica de muy buenas características eléctricas, mecánicas, térmicas y químicas. Se utiliza como material para las vainas de cables de fibras ópticas, sobre todo cuando las temperaturas superan los 100°C.

1.5.3. VAINA PROTECTORA.

Para cables exteriores o especiales se necesitan vainas protectoras de PE, PVC y poliamida (PA) en los casos de aplicaciones especiales. Estos protegen a la armadura del cable contra corrosión y daños exteriores producidos por ejemplo, durante la instalación o la inserción en conductos.

Las vainas protectoras son de PE y se aplican en general encima de las masas bituminosas protectoras de la corrosión, por el método de la termocontracción, a unos 200°C.

Cuando se requieren vainas exteriores teñidas o resistentes a derivados del petróleo, se aplica por extrusión una capa de PVC del espesor requerido en torno de las vainas de PE. Para otros usos se emplean vainas protectoras de PE negro.

1.5.4. ARMADURAS.

En general, los cables con conductores de fibras ópticas se colocan sin armaduras tanto en la tierra como en conductos.

Se utiliza una armadura adicional para la protección del alma y la vaina del cable de conductores de fibra óptica en los casos de aplicaciones especiales como por ejemplo, cables submarinos, en minas, con protección contra roedores, entre otros.



Para estos cables especiales se deben elegir elementos adecuados para la armadura que no incrementen excesivamente el peso del cable, no reduzcan su flexibilidad sustancialmente y además posean una reducida dilatación.

1.6. TIPOS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA.

Los cables de fibra óptica se dividen en dos grupos:

- ↪ Monofibra.
 - ☞ Una sola fibra.
 - ☞ Denominados pigtaills para conexiones internas, o en unidades de parcheo
 - ☞ Simplex o dúplex, si son de 1 o 2 fibras.
 - ☞ Con recubrimiento normal a para altas temperaturas.

- ↪ Multifibra.
 - ☞ Dos o más fibras.
 - ☞ Aplicaciones en Redes LAN como Backbones.
 - ☞ Cada fibra se denomina subcable.
 - ☞ Se tiene un elemento de tracción central para todo el cable.
 - ☞ De 2 a 156 fibras.
 - ☞ Recubrimiento exterior que también varía según la aplicación.

Los cables de fibras ópticas se clasifican según determinadas características constructivas correspondientes a los siguientes grupos:

- ↪ Instalación Exterior.
 - ☞ Enterrados.
 - ☞ Canalizados.
 - ☞ Aéreos.

- ↪ Instalación Interior.
 - ☞ Fibras directamente conectorizables.

- ↪ Instalación Submarina.

Para explicar los conceptos se eligen, entre los múltiples casos posibles, algunos tipos de cables de fibras ópticas con características destacadas, se tratan los usos posibles y se dan indicaciones sobre normas existentes.

Para todos los tipos constructivos se debe tener en cuenta, de igual manera, que tanto durante la fabricación como a causa de otras influencias admisibles, debe evitarse que se produzcan alteraciones permanentes de las características de transmisión a los cables de fibras ópticas.



Exceptuando el dimensionamiento de la fibra óptica, la elección del cable de fibras ópticas apropiado se realiza de forma independiente de su tipo constructivo. En este caso son importantes los datos relativos a los tramos así como el conocimiento de las características técnicas de los sistemas de transmisión previstos.

1.6.1. CABLES EXTERIORES.

La configuración y el dimensionamiento de los cables exteriores, en particular los que tienen una vaina PE, es tal que se ajustan a todos los requerimientos que se les presentan tanto en instalaciones de cables que se efectúen en tierra como en conductos.

Según la cantidad de cables de fibras ópticas que se requieran, se utilizan conductores huecos con una fibra óptica o conductores de grupos con 2 a 12 fibras ópticas o conductores en maxigrupos. Teniendo en cuenta consideraciones constructivas y de la rentabilidad, se han impuesto para cables los conductores huecos de hasta 10 fibras y a partir de 10 fibras los conductores de grupo o de maxigrupos.

Las principales ventajas de los cables exteriores de fibra óptica son:

- ↪ Mecánicas.
 - ☞ Reducido diámetro del cable.
 - ☞ Poco peso.
 - ☞ Se suministran en tramos de gran longitud.
 - ☞ Dimensiones convenientes de los carretes de cables y, por ende, reducido peso de éstos.

- ↪ Influencia exterior.
 - ☞ Pueden diseñarse totalmente dieléctricos.
 - ☞ Se pueden eliminar influencias exteriores originadas por rayos, o por líneas de alta tensión.

- ↪ Característica de transmisión.
 - ☞ Atenuación.
 - A 1300 nm, 0.45 dB/Km en una fibra monomodo.
 - A 1550 nm, 0.30 dB/Km en una fibra monomodo.
 - A 850 nm, entre 2.5 y 3.5 dB/Km en una fibra multimodo con perfil gradual.
 - A 1300 nm, entre 0.7 y 1.0 dB/Km en una fibra multimodo con perfil gradual.

 - ☞ Ancho de Banda.
 - Para 1 Km de cable de fibra óptica multimodo hasta 1.2 GHz.
 - Para 1 Km de cable de fibra óptica monomodo hasta varios múltiples de 10 GHz.



1.6.2. CABLES INTERIORES.

Para las más diversas aplicaciones en el interior de edificios se requieren cables de fibras ópticas para interiores, dado que el uso de cables exteriores no está permitido o lo está sólo en forma restringida en el interior de edificios. Por eso, los cables para exteriores finalizan inmediatamente después de ingresar a un edificio en una caja de empalme distribuidora de fibras ópticas o en un bastidor terminal para cables. Para asegurar que la junta muestra solamente un bajo incremento de atenuación se utiliza, dentro de lo posible, cables para interiores con similares características ópticas de transmisión que los correspondientes cables para exteriores

Generalmente se distinguen tres clases de cables interiores:

A. Cables interiores de fibras múltiples (MIC).

Son cables de fibras ópticas resistentes y de alto rendimiento. Están diseñados para las diversas condiciones interiores y exteriores, incluso para el tendido en caños entre edificios, para el tendido dentro de edificios en los pozos verticales y para el área horizontal de los espacios aéreos (plenum) de los techos y suelos, así como hasta los escritorios.

B. Cables distribuidores (Fan-out, Break-out).

Es posible conducir o dividir individualmente cada fibra para confeccionarla con conectores o efectuar el mantenimiento. El tendido en tubos de estos cables es posible tanto entre edificios debajo del suelo helado como también en el interior de los edificios, como por ejemplo, en los pozos verticales, debajo de los suelos de los cuartos computarizados y en aplicaciones empleadas para llegar hasta el escritorio.

C. Cables de conexión.

Son usados para la transmisión de voz, datos, video e imágenes con computadoras, manejo de procesos industriales, entrada de datos y sistemas de oficinas. Los cables de conexión son disponibles en forma del cable de fibras ópticas de una y dos fibras, siendo estos cables diseñados de manera adecuada para el confeccionamiento de conectores y están previstos para utilizarlos como cables de maniobra en los distribuidores interiores de edificios.

1.6.3. CABLES SUBMARINOS.

En general se denomina **cable submarino** al constituido por conductores de cobre o fibras ópticas, instalado sobre el lecho marino y destinado fundamentalmente a servicios de telecomunicación.

En lo relativo al servicio de telecomunicación los primeros cables, destinados al servicio telegráfico, estaban formados por hilos de cobre recubiertos de un material aislante denominado gutapercha, sistema desarrollado, en 1847, por el alemán Werner von Siemens. Con este sistema se logró tender, en 1852, el primer cable submarino que unía el Reino Unido y Francia a través del Canal de la Mancha.



En 1855 se aprobó el proyecto para tender el primer cable trasatlántico. Este cable no llegaría a funcionar hasta el año 1866 y unía Irlanda y Terranova.

Las dificultades de tendido fueron considerables, así como las de explotación, debido a las elevadas atenuaciones que sufrían las señales como consecuencia de la capacitancia entre el conductor activo y tierra, así como por los problemas de aislamiento.

El descubrimiento de aislantes plásticos posibilitó la construcción de cables submarinos para telefonía, dotados de repetidores amplificadores sumergidos, con suministro de energía a través de los propios conductores por los que se transmitía la conversación.

Posteriormente, en la década de los 60, se instalaron cables submarinos formados por pares coaxiales, que permitían un elevado número de canales telefónicos analógicos, del orden de 120 a 1800, lo que para la época era mucho. Finalmente, los cables submarinos de fibra óptica han posibilitado la transmisión de señales digitales portadoras de voz, datos, televisión, entre otros; con velocidades de transmisión de hasta 2.5 Gbps, lo que equivale a más de 30.000 canales telefónicos de 64 Kbps.

Aunque los satélites de comunicaciones cubren una parte de la demanda de transmisión, especialmente para televisión e Internet, los cables submarinos de fibra óptica siguen siendo la base de la red mundial de telecomunicaciones.

Para extender la transmisión terrestre con fibras ópticas a aplicaciones submarinas se desarrolló la familia MINISUB en base de cables marinos pasivos. Este sistema MINISUB está compuesto por estaciones en el campo, que además de componentes estándares están configuradas por sistemas de control y mantenimiento estandarizados, post y pre-amplificadores ópticos, fibras ópticas con baja atenuación y cables resistentes en lo concerniente a la mecánica, de fácil manejo, económico de precio así como cables con medidas justas para aplicaciones libres de regeneradores.

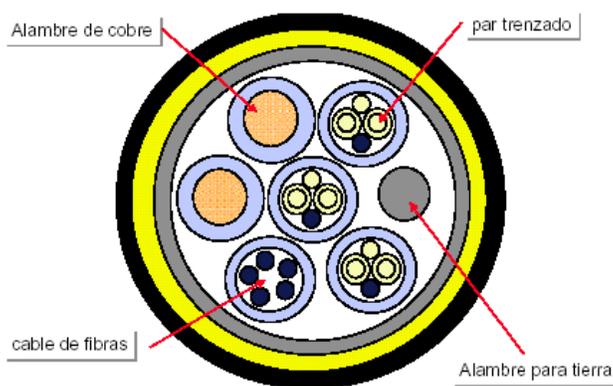


Figura II.27 Estructura de un cable submarino.

Las características principales de esta tecnología son: Tendido del cable y recuperación en profundidades de hasta 6000 m, vanos de regeneradores de hasta 400 Km, capacidad de transmisión con hasta 24 fibras ópticas de 2.5 Gbits/s por cada fibra mediante tecnología SDH.



2. EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA.

La implementación práctica de sistemas de comunicaciones por fibra óptica requiere de la unión de diferentes tramos de cables para realizar enlaces largos. Esas uniones son de gran importancia para obtener una alta calidad de transmisión y reducido mantenimiento.

Los empalmes de fibra óptica deben tener una atenuación baja y estable durante todo el tiempo de vida útil del sistema y sobre un amplio rango de condiciones ambientales.

Los cables de fibra óptica se ofrecen en carretes de 2 Km aproximadamente, para un tendido de 50 Km se requiere realizar 24 empalmes.

2.1. TIPOS DE EMPALMES.

Los empalmes de fibra; óptica se pueden realizar empleando uno de los tres métodos siguientes:

- a) Método Mecánico
- b) Método de Fusión.

2.1.1. MÉTODO MECÁNICO.

Los **empalmes mecánicos** o manuales, pueden ser tanto temporales como permanentes, son muy rápidos de realizar pues no se requiere ningún equipamiento especial, tan sólo una cortador que permita hacer un corte recto en los extremos de la fibras que se quieren unir.

Un empalme mecánico consiste de cuatro componentes básicos:

- A) Una superficie de alineamiento (surco – o guías formadas por cilindros, varillas o por la esquina de un tubo de sección cuadrada.
- B) Un retenedor (muelle, cubierta) para mantener las fibras sobre la superficie de alineamiento.
- C) Un material de adaptación de índice de refracción (gel de silicona, adhesivos de curado UV, resina epóxica y grasas ópticas.
- D) Un encaje o manguito de protección.

El mayor inconveniente son las pérdidas que introducen que suelen superar los 0.15 dB, a temperatura ambiente (20 °C); a menudo se suele incorporar un gel en la zona de contacto de los dos extremos para reducir las reflexiones. Sin embargo, los empalmes, mecánicos son sensitivos a los cambios de temperatura ambiental.

Este método es excelente para sistemas de corto alcance (menor que 2 Km).

2.1.1.1. PASOS PARA UN EMPALME MECÁNICO.

- A) Se siguen los mismos pasos en cuanto a la preparación de la fibra.
- B) Se insertan ambos extremos de la fibra en el contenedor del empalme.
- C) Este contenedor posee un mecanismo para la alineación de las fibras.
- D) Con la empalmadora mecánica se aplica presión para dejar a las fibras bien fijadas.
- E) Existen variantes en cuanto al tipo de contenedor para el empalme y al procedimiento de alineamiento.

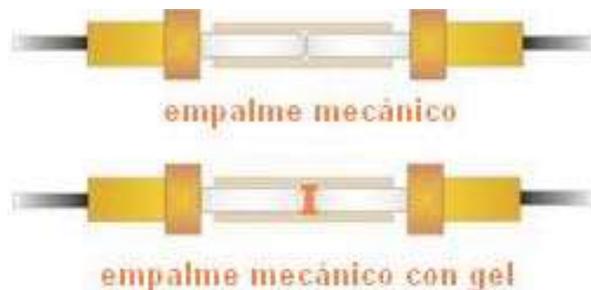


Figura II.28 Método Mecánico.

2.1.2. EMPALME POR MÉTODO DE FUSIÓN.

En este método las dos fibras son empalmadas aplicando calentamiento localizando entre los extremos de fibras prealineados, causando que las fibras se ablanden y se funden simultáneamente para formar un hilo de vidrio continuo. El calor de fusión es generado por el arco eléctrico de dos electrodos conectados a una fuente de alto voltaje.

Este método ofrece la atenuación óptica más baja (menor de 0.1 dB) y la más alta confiabilidad. Es utilizado en enlaces de cables continuos y largos (decenas de Km.).

2.1.2.1. PASOS DE UN EMPALME DE FUSIÓN.

- A) Se separa el cable de fibra del resto (si se trata de un cable con múltiples fibras).
- B) Se “pela” el cable retirando la protección exterior y recortando las fibras del elemento de tracción.
- C) Con una herramienta especial se retiran las protecciones para dejar a la fibra desnuda.
- D) Con otra herramienta especial se hace un corte en la fibra, el cual debe de dejar la cara de la fibra totalmente plana.
- E) Se limpia la fibra usando pañuelos especiales.
- F) Se colocan ambos extremos de fibra en la empalmadora de fusión y se sujetan.
- G) La empalmadora alineará automáticamente a las fibras.
- H) Se aplica un arco eléctrico que funde ambas fibras y las une.

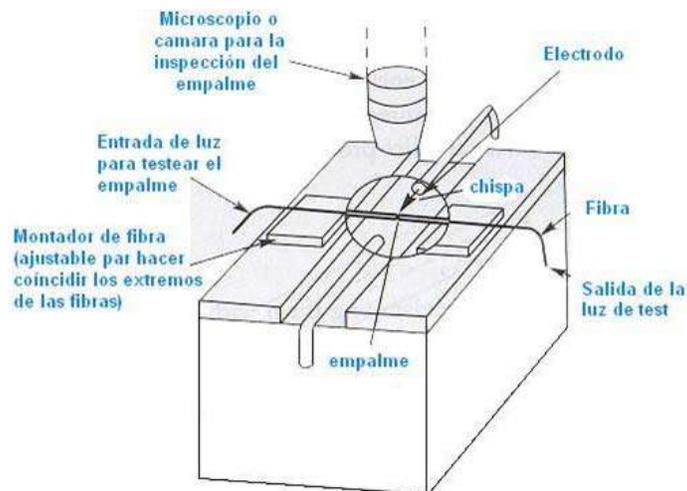


Figura II.29 Método de Fusión.

2.1.2.2. EMPALMADORA DE FUSIÓN.

Las empalmadoras de fusión se pueden dividir en:

↪ Manuales.

- ☞ El proceso de alineamiento es manual.
- ☞ La aplicación del arco también es manual.
- ☞ Baratas y sencillas, pero no dan tan óptimos resultados.

↪ Automáticas.

- ☞ Hacen todo el proceso automático.
- ☞ Existen dos métodos para el alineamiento LID (Local Inject Detect) y PAS (Profile Alignment System).
- ☞ De estos dos el último da mejores resultados y es el que tiene las empalmadoras más caras.



Figura II.30 Empalmadora de Fusión



2.2. HERRAMIENTAS PARA EMPALMES Y CONECTORES.

Las herramientas necesarias se pueden dividir en:

- ↪ Empalmadoras.
 - ☞ Manuales.
 - ☞ Automáticas.
- ↪ Herramienta de corte.
 - ☞ Manual.
 - ☞ De corte y retiro semi-manual de la fibra.
 - ☞ De corte y esfuerzo mecánico lo cual hace el proceso automático.
- ↪ Herramienta de pulido.
 - ☞ Se emplean pequeños platos para asegurar un buen pulido en los conectores.
 - ☞ Finas lijas son empleadas para pulir las superficies de las fibras que serán conectorizadas.
 - ☞ Se emplean pulidoras para el montaje de los conectores.

2.3. PARÁMETROS DE UN EMPALME.

Los diferentes parámetros que se deben de tomar en cuenta para un empalme son:

- ↪ Tipo de fibra.
- ↪ Corriente de limpiado.
- ↪ Tiempo de limpiado.
- ↪ Corriente de prefusión.
- ↪ Tiempo de prefusión.
- ↪ Corriente de fusión.
- ↪ Tiempo de fusión.
- ↪ Separación.
- ↪ Diámetro del recubrimiento.
- ↪ Atenuación por empalme.
- ↪ Pérdidas por reflexión.

3. CONECTORES DE FIBRAS ÓPTICAS.

Conector, en *hardware*, acoplador utilizado para unir cables o para conectar un cable a un dispositivo, por ejemplo, los conectores Db-9 y Db-25, regulados por la norma RS-232-C, empleados para conectar un cable de módem a un ordenador o computadora. La mayoría de los conectores pertenece a uno de los dos tipos existentes: macho o hembra. El conector macho se caracteriza por tener una o más clavijas expuestas; los conectores hembra disponen de uno o más receptáculos diseñados para alojar las clavijas del conector macho.¹⁰

¹⁰"Conector," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009*. © 1993-2008 Microsoft Corporation.



A comienzos de la década de los 80, los pioneros en la industria de interconexión desarrollaron un método básico para unir un conector a un tramo de cable de fibra óptica. Dicho método consistía en el uso de un époxico aplicado a la fibra con una torunda de algodón o un palillo de dientes. La fibra revestida se insertaba dentro del conector, el époxico curaba, la fibra se separaba y, finalmente, se realizaban unos cuantos pasos de pulido para suavizar a aplanar la fibra (en relación con el extremo del conector). El tiempo que tomaba efectuar esta labor variaba entre 15 y 20 minutos por conector.

3.1. FUNCIÓN DE LOS CONECTORES.

Entre los representantes de las conexiones de cables de fibras ópticas se encuentran los conectores de fibras ópticas como los más importantes, ya que frecuentemente funcionan como terminación de los cables para que éstos puedan ser conectados a equipos electro-ópticos y para que puedan ser puestos en funcionamiento.

Por consiguiente, los conectores forman el punto de intersección entre la instalación del cable y de los establecimientos de transmisión activos.

Las características de un conector son:

- ↪ Su misión es unir a la fibra con el equipo de transmisión, o a las fibras entre sí.
- ↪ Deben de ofrecer características de atenuación y reflexión similares a las de un empalme.
- ↪ Deben soportar las condiciones ambientales (temperatura, humedad, entre otros).
- ↪ Deben de permitir la conexión/desconexión en repetidas veces.
- ↪ Requerimientos futuros:
 - ☞ Ser cada vez más fáciles y rápidos de armar.
 - ☞ Reducir reflexiones y atenuaciones.
 - ☞ Reducir costos.
 - ☞ Brindar protección y seguridad.
- ↪ Estandarización impuesta por fabricantes.

Por lo general, una conexión de conectores del cable de fibras ópticas consiste de dos conectores de este tipo que se conectan aplicando el principio del acoplamiento de la cara frontal. Lo característico para el acoplamiento de la cara frontal es que las superficies de emisión y recepción de luz se encuentran una respecto a la otra, de forma paralela y a muy corta distancia o incluso en contacto físico (fig. II.31). Únicamente este principio permite lograr conectores de muy baja atenuación para la gama de 850 nm, 1300 nm y 1550 nm.

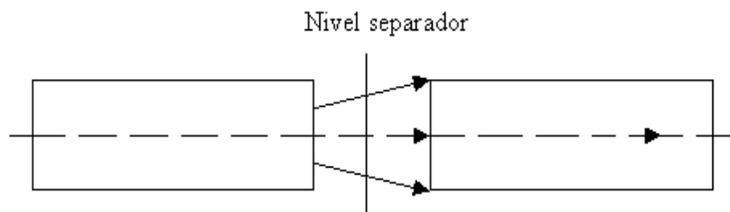


Figura II.31 Principio del acoplamiento frontal.

3.2. ESTRUCTURA DE LOS CONECTORES.

Los componentes más importantes de un conector (fig. II.32) son:

- ↪ Ferula.
- ↪ Carcasa.
- ↪ Elemento de fijación o anillo de sujeción.
- ↪ Protector de doblez (manguito).

Para poner en práctica el principio de acoplamiento de las caras frontales descrito anteriormente, se adhiere cada uno de los cables de fibra óptica de forma céntrica y aplicando resina epóxica a un perno cilíndrico de perforación muy pequeña, llamado “Ferrule”. La perforación de estos “ferrules” es de 126 hasta 127 μm cuando se usan cables de fibra óptica monomodo y 127 hasta 128 μm en el caso de los cables de fibra óptica multimodo. Al mismo tiempo la resina epóxica como material adhesivo cumple dos funciones importantes: por una parte protege a la fibra “desnuda” dentro del conector contra los efectos del ambiente, como pueden ser la temperatura y la humedad, y, por otra parte permite la flexibilidad necesaria durante el proceso del pulido. Luego se limpia y pule prolijamente la cara frontal del “ferrule” en varias etapas, para que quede una superficie limpia y extremadamente fina sin rayas.

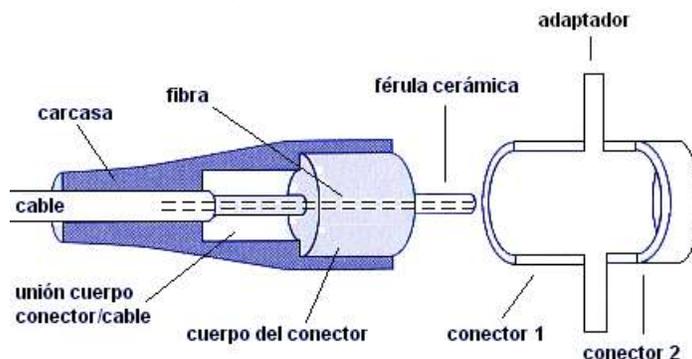


Figura II.32 Componentes de conectores.

El “ferrule” preparado de este modo y los demás componentes forman un conector. Para instalar una conexión del cable de fibras ópticas se posicionan dos conectores en un acoplador, colocándolos con su cara frontal y pulida exactamente uno delante del otro, según el principio de acoplamiento de la superficie de caras frontales. Aunque existen múltiples tipos de conectores de fibras ópticas, se ha impuesto un diámetro de 2.5 mm prácticamente como estándar de los ferrules que pueden componerse de sustancias metálicas, cerámicas y hasta sintéticas. La cerámica de óxido zirconio resultó ser el material con las mejores características en su totalidad para conectores de ferrules imponiéndose sobre materiales metálicos como níquel de plata o carburo de wolframio.

Se están empleando cada vez más nuevas clases de ferrules plásticos para aplicaciones fáciles en las que la potencia no es problemática. Desde el punto de vista técnico, los ferrules plásticos no alcanzan la calidad de las piezas cerámicas correspondientes, pero si tienen ventajas con respecto a los costos.



En el caso de los conectores de fibra óptica, las envolturas de conectores cumplen dos funciones importantes: por una parte establecen la clase de fijación del conector con el acoplador, como por ejemplo la unión por tornillos, por bayoneta o por Push-Pull. Por otra parte, la segunda función importante que cumple la envoltura del conector junto con el anillo de sujeción consiste en amortiguar el cable de fibras ópticas empleado y ocuparse de un descargue eficiente de la tracción.

3.3. PÉRDIDAS EN LOS CONECTORES.

Los criterios más importantes con respecto a la calidad de conectores de fibras ópticas monomodo son la atenuación de inserción y la atenuación retrodispersa. Generalmente, en el caso de los conectores de fibras ópticas multimodo, se mide solamente la atenuación de inserción. Esta indica en cuánto aumenta la atenuación de una línea de transmisión óptica si se intercala en ella un conector de fibras ópticas. El valor de la atenuación de inserción depende principalmente de los siguientes factores de influencia:

- ↪ Ángulo de desviación entre el eje longitudinal de ambas fibras ópticas ó Desalineamiento axial.
- ↪ Corrimiento radial de cables de fibras ópticas ó Desalineamiento transversal.
- ↪ Distancia de las caras frontales de los cables de fibras ópticas ó Desalineamiento excesivo.

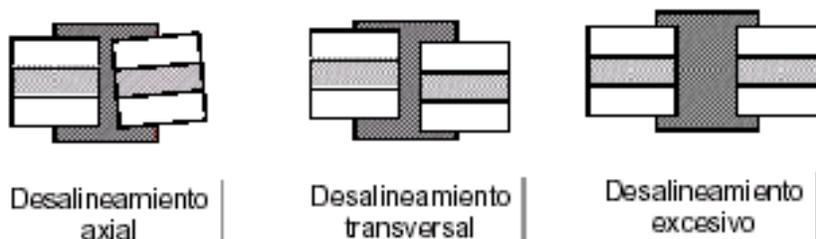


Figura II.33 Desalineamientos de las fibras ópticas.

La atenuación de los cables de fibras ópticas, además de los factores descritos, también depende del tipo de construcción así como de las tolerancias de los componentes del conector. Los conectores modernos como el conector **SC** o también **ST** muestran valores típicos de atenuación de 0.2 dB. Una atenuación a un conector de fibras ópticas, la cual como sabemos está compuesta por dos conectores y un acoplador, debe presentar en la práctica una atenuación de atenuación de < 0.8 dB.

Los conectores de cables de fibras ópticas monomodo no deben tener valores de atenuación retrodispersa menores que -45 dB o -55 dB, para ello se debe practicar con ciertas características el proceso de pulido.

A nivel atenuación se ha impuesto una nomenclatura que sugiere indicar el tipo del pulido con un trazo por atenuación de la atenuación del conector, como por ejemplo **PC** o **APC**.

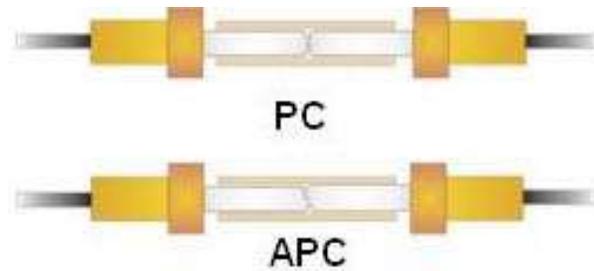


Figura II.34 Pulido PC y APC.

La abreviatura indica el tipo de atenuación retrodispersa:

Nomenclatura	Descripción	Atenuación
PC	Physical Contact (contacto físico de las caras en el ferrule).	< -30dB
SPC	Super Physical Contact.	< -45dB
UPC	Ultra Physical Contact.	< -55dB
APC	Angled Physical Contact (“afilado oblicuo”, “High Return Loss”).	< -65dB

Tabla II.4 Nomenclatura de Pulido.

3.4. TIPOS DE CONECTORES.

3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS CONECTORES.

- ↪ Conectores de férula cilíndrica.
 - ☞ Fibras monomodo y multimodo.
 - ☞ Los más populares.
 - ☞ Ejemplos: **ST** (straight tip), **SMA** (subminiature assembly), **FC** (fiber connector), **SC** (subscriber connector), **D3/D4** (NEC), **DIN**.
- ↪ Conectores de férula bicónica.
- ↪ Conectores de doble excéntrico.
- ↪ Conectores dúplex y múltiples.
- ↪ Conectores de expansión de haz.

3.4.2. TIPOS DE CONECTOR MÁS COMUNES.

- ↪ **SMA** Sub Miniature Assembly: Derivado del conector coaxial, se emplea en transmisión de datos sólo con fibras multimodo; puede montarse a la fibra sin necesidad de mayor equipo adicional.

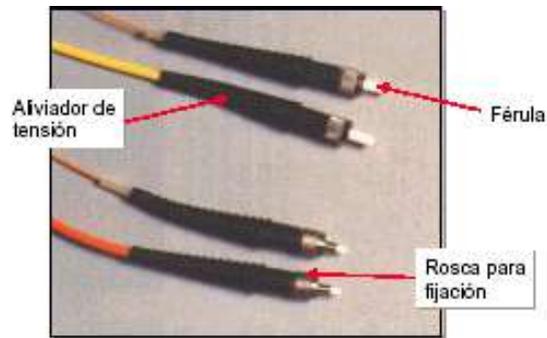


Figura II.35 Conector SMA.

- ↪ **FC Fiber Connector:** Originario de Japón, con contacto PC, se usa con monomodo en LAN's e interurbanas; requiere de maquinaria especial (pulidoras); conector caro que requiere de espacio para conectarse.



Figura II.36 Conector FC.

- ↪ **SC Subscriber Connector:** Derivado del FC que contempla aplicaciones futuras, no necesita gran espacio, pero aún se requiere maquinaria para su montaje.

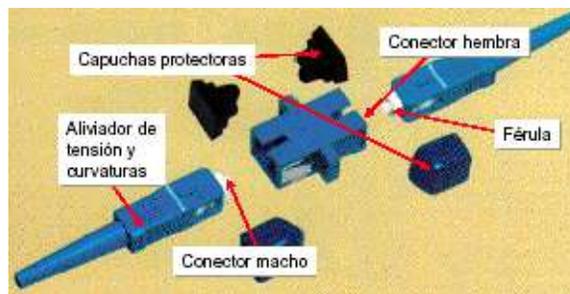


Figura II.37 Conector SC.

- ↪ **ST Straight Tip:** Diseñado por AT&T como competidor del SMA. Su principal aplicación es en la transmisión de datos en multimodo y monomodo; su montaje es fácil y por emplear pocas piezas, no es caro.

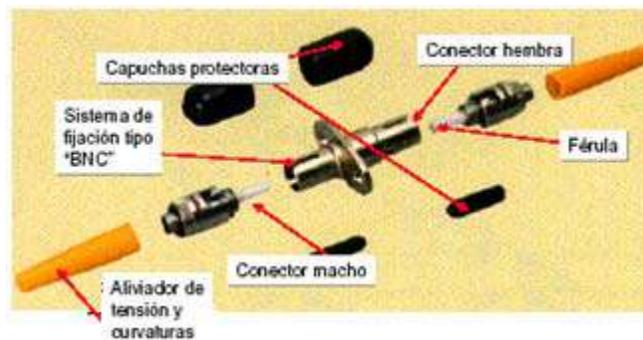


Figura II.38 Conector ST.

En el mercado se pueden obtener una variedad de conectores de cables de fibra óptica:

- ↪ SC, FC, ST, FDDI, E2000, LSA-DIN, SMA, D4, EC, BICONIC, ESCON, MT, MPO.

De los modelos mencionados, los más usados nacional e internacionalmente son los siguientes:

- ↪ SC, ST y FDDI en redes locales.
- ↪ SC, FC, E2000 y LSA-DIN en redes CATV y de telecomunicación.

3.5. PARÁMETROS DE LOS CONECTORES.

Los parámetros que se deben de tomar en cuenta para la elección de un conector son:

- ↪ Tipo de contacto.
- ↪ Tipo de conector.
- ↪ Atenuación.
- ↪ Pérdidas por retorno.
- ↪ Rango de temperatura.
- ↪ Durabilidad.
- ↪ Tensión máxima soportada.
- ↪ Con protección.
- ↪ Facilidad de ensamblaje.
- ↪ Posibilidad de ensamblar en campo.
- ↪ Costo.

En la tabla II.5 se muestra un resumen de los conectores con sus características.



Conector	Pérdidas por Inserción	Tipo de Fibra	Aplicaciones
 FC	0.5 – 1 dB	Monomodo, Multimodo	Comunicaciones de Datos, Telecomunicaciones
 FDDI	0.20 – 0.70 dB	Monomodo, Multimodo	Redes de Fibra Óptica
 LC	0.15 dB	Monomodo	Interconexiones de Alta Densidad
	0.10 dB	Multimodo	
 MT Array	0.30 – 1 dB	Monomodo, Multimodo	Interconexiones de Alta Densidad
 SC	0.20 – 0.45 dB	Monomodo, Multimodo	Comunicaciones de Datos
 SC Duplex	0.20 – 0.45 dB	Monomodo, Multimodo	Comunicaciones de Datos
 ST	0.40 dB	Monomodo	Edificios, Seguridad
	0.50 dB	Multimodo	

Tabla II.5 Conectores de Fibra Óptica.

CAPITULO III

“NORMA IEEE 802.3 EN FIBRA ÓPTICA”



... Nunca he encontrado una persona tan ignorante, que no se pueda aprender algo de ella.
GALILEO GALILEI



1. TECNOLOGÍAS DE REDES.

Las redes de comunicaciones son, como su nombre lo indica, una infraestructura que permite el intercambio de información, que mientras más rápida sea, incrementa las posibilidades dentro de un entorno. Hoy en día lo que antes se transmitía en su estado natural analógico como es el audio y el video ya se puede transmitir de manera digital, y por tanto pueden considerarse como datos. Estos permiten que la comunicación sea de manera integral al no sólo transportar texto e imágenes, sino que también puede transmitir información que implique movimientos realizados en ese momento ó bien, hablando, comunicando algo de suma importancia que puede llegar a ser en tiempo real solo con un retraso de algunos segundos debido a la distancia ó al tipo de infraestructura utilizada, todo esto bajo una sola interfaz.

Estos servicios están básicamente en dos clases, los que están orientados a conexión (*Connection-Oriented Services*) y los que no (*Connectionless-Oriented Services*).

Los primeros son análogos a un sistema telefónico, es decir, se necesita establecer la comunicación entre las partes para poder comenzar la transmisión de información. Los paquetes de información se envían al destinatario llegando en el mismo orden en que fueron enviados, sin permitir retraso, ó bien, que éste sea constante.

Los servicios orientados a no-conexión son análogos al sistema postal, esto es, se envía la información sin estar seguro de que el destinatario recibió o no el mensaje, y se envía más de un mensaje, puede que los que se enviaron primero lleguen antes o bien lleguen después, debido a posibles retardos por la línea.

1.1. CONCEPTO DE RED.

Una **red** es un sistema de transmisión de datos que permite el intercambio de información entre **ordenadores**. Si bien esta definición es demasiado general, sirve como punto de partida.

Una red consiste en dos o más computadoras unidas que comparten recursos como *archivos*, *CD-ROM`s* o *impresoras* y que son capaces de realizar comunicaciones electrónicas. La información que pueden intercambiar los ordenadores de una red puede ser de lo más variada: correos electrónicos, videos, imágenes, música en formato MP3, registros de una base de datos, páginas Web, entre otros. La transmisión de estos datos se produce a través de un medio de transmisión o combinación de distintos medios: cables de fibra óptica, tecnología inalámbrica, enlaces vía satélite, cables de teléfono, entre otros.

En la definición anterior se ha utilizado el término *ordenadores* con la intención de simplificar y/o generalizar. Sin embargo, los ordenadores son sólo una parte de los distintos dispositivos electrónicos que pueden tener acceso a las redes, en particular a Internet.

Otros dispositivos de acceso son los asistentes personales (PDA), teléfonos celulares, que dependiendo del modelo, marca y compañía ofrecen diferentes posibilidades de conexión.



Además de toda una gama de dispositivos que actualmente se pueden encontrar en el mercado; los cuales aparte de su función principal el fabricante ofrece la posibilidad de conexión.

1.2. COMPONENTES DE UNA RED.

Una red de computadoras está conectada tanto por hardware como por software. El hardware incluye tanto las tarjetas de interfaz de red, como los cables que las unen. Y el software incluye los controladores (programas que se utilizan para gestionar los dispositivos). A continuación se enlistan los componentes de una Red:

- ↪ **Servidor:** Este ejecuta el sistema operativo de red y ofrece los servicios de red a las estaciones de trabajo.
- ↪ **Estaciones de Trabajo:** Cuando una computadora se conecta a una red, la primera se convierte en un nodo de la última y se puede tratar como una estación de trabajo o cliente. Las estaciones de trabajo pueden ser computadoras con el **DOS, Macintosh, Unix, OS/2** o estaciones de trabajo sin discos.
- ↪ **Tarjetas de Interfaz de Red:** Toda computadora que se conecta a una red, necesita de una tarjeta de interfaz de red que soporte un esquema específico, como Ethernet, Arcnet o Token Ring.
- ↪ **Sistema de Cableado:** El sistema de la red está constituido por el cable utilizado para conectar entre si el servidor y las estaciones de trabajo.
- ↪ **Recursos y Periféricos Compartidos:** Entre los recursos compartidos se incluyen los dispositivos de almacenamiento ligados al servidor, las unidades de discos ópticos, las impresoras y el resto de equipos que puedan ser utilizados por cualquiera en la red.

1.3. CLASIFICACIÓN DE REDES.

La manera más sencilla de clasificar las redes, es con base a la distancia entre computadoras, aunque esto varía dependiendo de la ubicación y lugar geográfico de la red. Si las computadoras se encuentran dentro de un mismo ámbito geográfico como en una habitación, un edificio o un campus (como máximo, del orden de 1 Km) se llama **Red de Área Local** (*Local Area Network*). Si la distancia es del orden de la decena de kilómetro entonces se está ante una **Red de Área Metropolitana** (*Metropolitan Area Network*). Si la distancia es de varios cientos de kilómetros entonces se habla de una **Red de Área Amplia** (*Wide Area Network*) y si se trata de una red que cubre todo el planeta entonces se habla de **Internet**.

Otro concepto en la jerarquía de redes son las **Redes de Área Personal** (*Personal Area Network*). Una red de área personal es la interconexión de dispositivos de tecnología de información dentro del rango individual, típicamente dentro de un rango de 10 metros.



1.3.1. LAN (Local Área Network).

Las LAN (**Red de Área Local**) están restringidas en cuanto a su tamaño y por ello se puede determinar de manera más exacta su velocidad de transmisión. El medio de transmisión consiste en un cable al que están conectadas todas las máquinas. Su topología, es decir la forma en que enlazan las computadoras puede ser en bus o en anillo, entre otras.

El IEEE (Institute of Electrical and Electronics Enginners) da la siguiente definición de lo que es una Red LAN: **“Sistema de comunicación de datos que permite a un cierto número de dispositivos comunicarse directamente entre sí, dentro de un área geográfica reducida y empleando canales físicos de comunicación de velocidad moderada o alta”**.

Los componentes básicos requeridos para que funcione una LAN se pueden dividir en dos categorías: hardware y Software.

- ↪ Una red de área local requiere los siguientes componentes de hardware: el servidor de archivos, las estaciones de trabajo, el cableado, equipamiento de conectividad y las tarjetas de red o **NICs** (*Network Interface Cards*).
- ↪ El software necesario para que una LAN funcione correctamente está formado por el sistema operativo del servidor de archivos o sistema operativo de red y el de la estación de trabajo.

Algunas características que definen una red LAN son:

- ↪ Compartición de recursos, como impresoras, scanners, módems, discos remotos, entre otros.
- ↪ Interconexión de equipos informáticos
- ↪ Es una red privada corporativa ya que la red es propiedad de la organización.
- ↪ Cobertura geográfica limitada, aproximadamente 1Km.
- ↪ Velocidades de transmisión elevadas (10Gbps).
- ↪ Tasas de error de transmisión muy bajas.
- ↪ Permite un uso transparente de los recursos, puesto que el uso de equipos remotos como impresoras es como si se tuvieran en nuestro equipo local.
- ↪ Fácil instalación y explotación.
- ↪ Facilidad para su gestión y administración.

Bien planificada e implementada, una red local aumenta la productividad de las computadoras y periféricos implicados en ella. Si no se planifica y monta apropiadamente puede ser motivo de pérdida de tiempo e información.

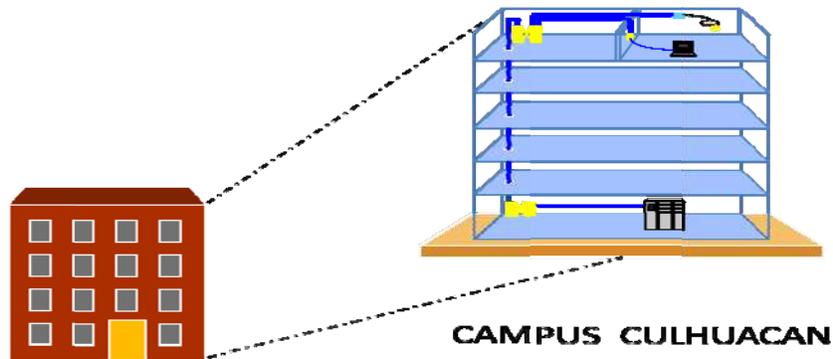


Figura III.1 Red LAN.

1.3.2. MAN (Metropolitan Area Network).

Las **MAN (Red de Área Metropolitana)** están basadas en una tecnología similar a las LAN y son capaces de transmitir datos, voz y señal de TV por cable local. Normalmente son redes de fibra óptica de gran velocidad que conectan segmentos de red local de un área específica, como un campus un polígono industrial o una ciudad.

El IEEE da la siguiente definición de lo que es una **MAN ES EL ESTÁNDAR 802.6** (Redes de Área Metropolitana), el cual define un protocolo de alta velocidad donde las estaciones enlazadas comparten un bus dual de fibra óptica usando un método de acceso llamado Bus Dual de Cola Distribuida (DQDB por sus siglas en inglés). El bus dual provee tolerancia de fallas para mantener las conexiones en caso de que el bus se rompa.

El estándar MAN está diseñado para proveer servicios de datos, voz y vídeo en un área metropolitana de aproximadamente 50 kilómetros a tasas de 1.5, 45 y 155 Mbits/seg. DQDB es el protocolo de acceso subyacente para el SMDS (Servicio de Datos de Multimegabits Switcheados).

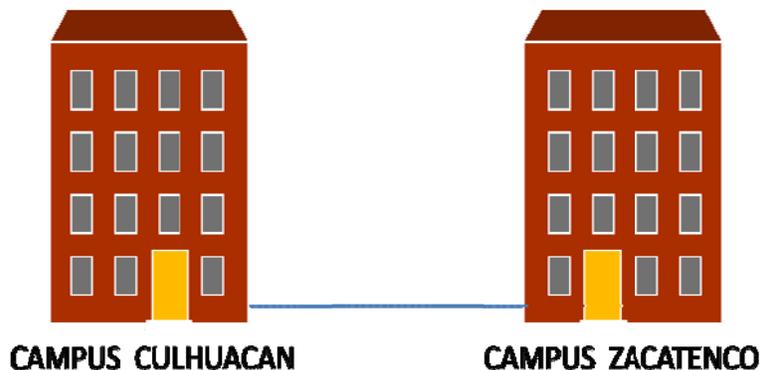


Figura III.2 Red MAN.



1.3.3. WAN (Wide Área Network).

Una WAN por sus siglas en ingles *Wide Area Network*, (Redes de Área Amplia) a veces llamada redes de gran alcance (*long haul networks*), proporcionan comunicación que cubre grandes distancias. Muchas tecnologías WAN no tienen un límite de distancia de recorrido; una WAN puede permitir que dos puntos inmediatamente lejanos se comuniquen. Por ejemplo, una WAN puede recorrer un continente o unir computadoras a través de un océano. Por lo común las WAN operan más lentamente que las LAN y tienen tiempos de retardo mayores entre las conexiones.

Las velocidades convencionales para una WAN están en un rango que va de los 56 Kbps a 155 Mbps. Los retardos para una WAN pueden variar de unos cuantos milisegundos a varias decenas de segundos.¹¹ Debido a que las redes LAN cubren distancias cortas, ofrecen tiempos de retraso mucho menores que las WAN. Los tiempos de retardo de una LAN pueden ser cortos, como unas cuantas decenas de milisegundos, o largos, 10 milisegundos.

Una WAN, se puede extender sobre un área geográfica amplia, a veces un país o un continente; contiene una colección de máquinas dedicadas a ejecutar programas de usuario (aplicaciones), estas maquinas se llaman **hosts**, los *hosts* están a su vez conectados por una subred de comunicación. El trabajo de una subred es conducir mensajes de un host a otro. La separación entre los aspectos exclusivamente de comunicación de la red (la subred) y los aspectos de aplicación (*hosts*), simplifica enormemente el diseño total de la red.

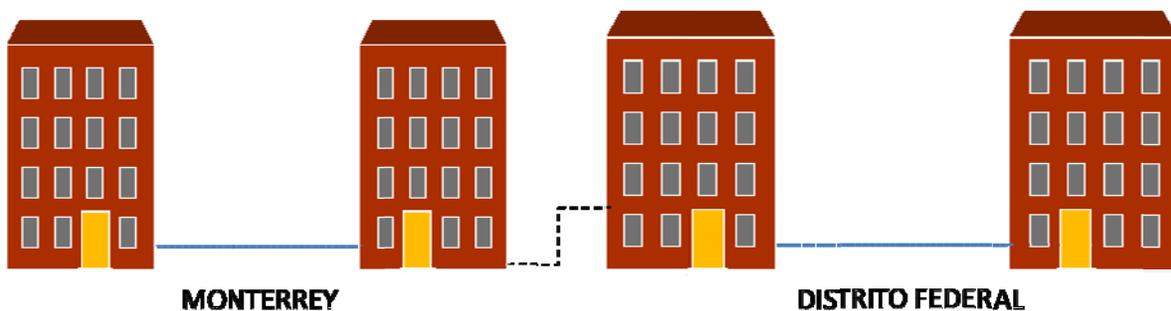


Figura III.3 Red WAN.

En muchas redes de área amplia, la subred tiene dos componentes distintos: las líneas de transmisión y los elementos de conmutación. Las líneas de transmisión (también llamadas circuitos o canales) mueven los bits de una máquina a otra.

Los elementos de conmutación son computadoras especializadas que conectan dos o más líneas de transmisión. Cuando los datos llegan por una línea de entrada, el elemento de conmutación debe escoger una línea de salida para enviarlos. Como término genérico para las computadoras de conmutación, se les llama routers.

¹¹ Estos retardos se deben a que algunas redes WAN se comunican por medio de envío de señales a los satélites en órbita alrededor de la Tierra.



La red consiste en los Equipos de Comunicación de Datos (**DCE Data Communication Equipment**), interconectados por canales alquilados de alta velocidad. Cada DCE utiliza un protocolo responsable de enrutar correctamente los datos y de proporcionar soporte a las computadoras y terminales de los usuarios finales conectados a los mismos. La función de soporte del Equipo Terminal de Datos (**DTE Data Terminal Equipment**) es la de ensamblar o desensamblar los paquetes, a esta función se le denomina a veces **PAD** (*Packet Assembly / Disassembly*).

2. MODELO OSI.

El modelo OSI describe la manera como se mueve la información de una aplicación del software en una computadora a otra a través de un medio de red. El modelo OSI es un modelo conceptual compuesto de siete capas, cada una especifica funciones particulares dentro de los procesos de intercambio de información en una red. El modelo fue desarrollado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, International Standard Organization) en 1984, y es considerado el modelo arquitectónico primario para las comunicaciones entre computadoras.

El modelo OSI clasifica todas las tareas involucradas con el intercambio de la información entre las computadoras conectadas en una red de datos en siete grupos más pequeños, y manejables. Una tarea o grupo de tareas se asignan entonces a cada una de las siete capas del modelo OSI. Dado que cada capa es bastante autónoma, las tareas asignadas a cada capa pueden llevarse a cabo independientemente, esto sirve para cuando se tengan actualizaciones de una capa estas puedan ser habilitadas sin afectar otras funciones de las otras capas.

Las siete capas del modelo OSI se muestran en la figura III.4

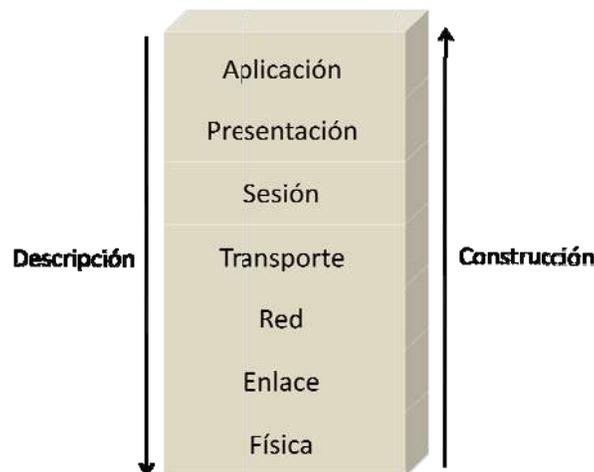


Figura III.4 El modelo OSI contiene 7 capas independientes.



2.1. CARACTERÍSTICAS.

Las siete capas del modelo OSI se dividen en dos categorías: las capas superiores y las capas inferiores.

Las capas superiores del modelo OSI se ocupan de la aplicación de los datos y generalmente se llevan a cabo en el software. La capa más alta, la capa de Aplicación, está relacionada con el usuario final. Los usuarios y procesos de la capa de Aplicación actúan recíprocamente con aplicaciones del software que contienen un componente de comunicaciones.

Las capas inferiores del modelo OSI están más relacionadas con los problemas del transporte de datos. La capa Física y la capa de Enlace se llevan a cabo tanto en el hardware como en el software. La capa más baja, la Física, es la encargada del medio físico de la red (cableado de la red, por ejemplo) y es responsable de poner la información sobre el medio.

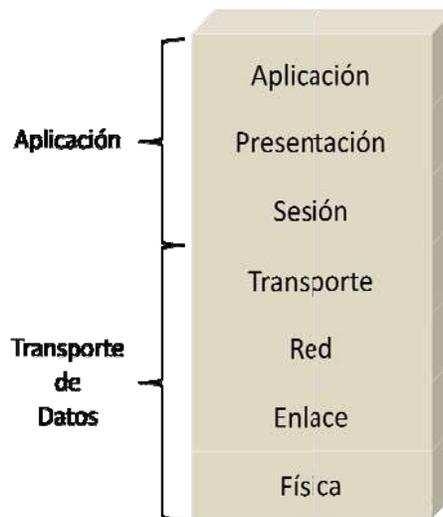


Figura III.5 Dos juegos entrelazados de capas superiores del modelo OSI.

2.2. PROTOCOLOS.

El modelo OSI mantiene un armazón conceptual para la comunicación entre las computadoras, pero el propio modelo no es un método de comunicación. La comunicación real es posible cuando se usan los protocolos de comunicación.

En el contexto de una red de datos, un protocolo es un conjunto formal de reglas y convenciones que gobiernan la manera de cómo las computadoras intercambian la información sobre un medio de la red. Un protocolo generalmente lleva a cabo las funciones de una o más de las capas del OSI.

Existe una gran variedad de protocolos de comunicación. Algunos de estos incluyen protocolos de la red y protocolos de ruteo. Los protocolos LAN operan sobre las capas



Física y de Enlace del modelo OSI, y definen la comunicación de los diferentes medios LAN. Los protocolos WAN operan en las 3 capas más bajas del modelo OSI y definen la comunicación de los diferentes medios de área amplia.

Los protocolos de ruteo son protocolos de la capa de Red que son responsables de intercambiar la información entre los ruteadores, así los ruteadores puedan seleccionar el camino más apropiado para el tráfico de la red. Finalmente, los protocolos de red son los protocolos de la capa superior que existen en una colección protocolar dada. Muchos protocolos confían en otros para su funcionamiento. Por ejemplo, muchos protocolos de ruteo usan los protocolos de red para intercambiar la información entre los ruteadores. Este concepto de trabajar sobre las otras capas es la base del funcionamiento del modelo OSI.

2.3. MODELO OSI Y LA COMUNICACIÓN ENTRE SISTEMAS.

La información que se transfiere de una aplicación del software en un sistema de la computadora a una aplicación del software en otro, debe atravesar las capas del modelo OSI.

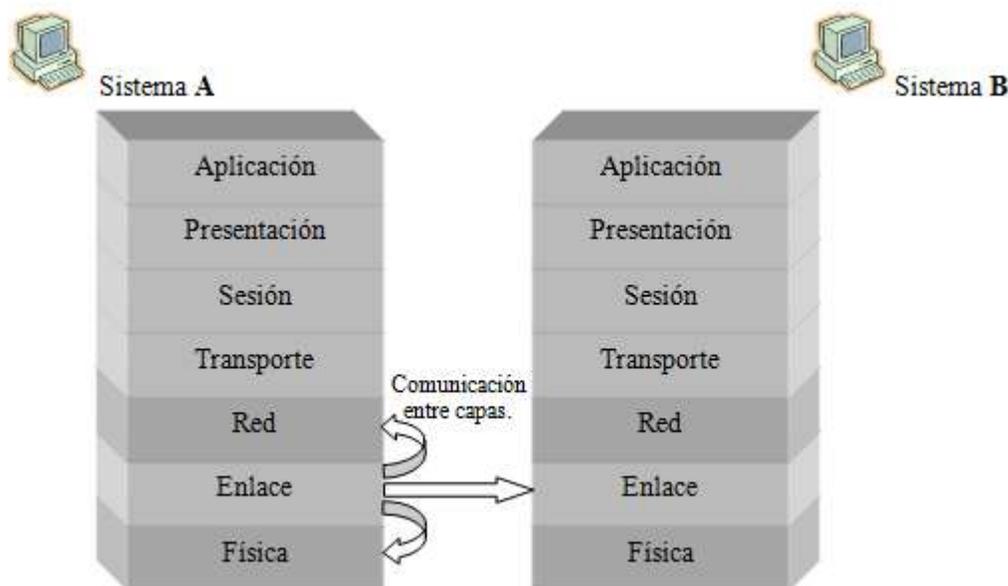


Figura III.6 Capas del modelo OSI comunicándose con otras capas.

Por ejemplo, si una aplicación del software en el sistema A necesita transmitir la información a una aplicación del software en el sistema B, el programa de la aplicación en el sistema A pasará su información a la capa de Aplicación (Capa 7) del sistema A. La capa de Aplicación entonces pasa la información a la capa de Presentación (Capa 6) después pasa los datos a la capa de Sesión (Capa 5), y así sucesivamente hasta la capa Física (Capa 1). En la capa Física, la información se pone en el medio físico de la red y se envía por el medio al sistema B. La capa Física del sistema B toma la información del medio físico, y entonces su capa Física pasa la información a la siguiente, capa de Enlace (Capa 2) la cual



pasa esta información a la capa de Red (Capa 3), y así sucesivamente, hasta que alcance la capa de Aplicación (Capa 7) del Sistema **B**.

Finalmente, la capa de Aplicación del sistema **B** pasa la información al programa de aplicación de destinatario para completar el proceso de comunicación.

2.4. INTERACCIÓN ENTRE CAPAS.

Una capa dada en el modelo OSI generalmente se comunica con otras tres capas del modelo OSI: la capa que está directamente sobre él, la capa que está directamente debajo de él, y su capa par en otros sistemas de computadoras conectadas en una red.

Por ejemplo la capa de Enlace en el sistema **A**, se comunica con la capa de red del sistema **A**, la capa física del sistema **A**, y la capa de enlace en el sistema **B**, como se ilustra en la figura III.6.

2.5. SERVICIOS DE CAPA.

Toda capa del modelo OSI se comunica con sus capas adyacentes para hacer uso de los servicios proporcionados por estas. Los servicios proporcionados por las dos capas adyacentes ayudan a una capa del modelo OSI a comunicarse con su capa par de otros sistemas de computadoras.

En esta comunicación hay tres elementos básicos que se encuentran envueltos en los servicios de cada capa: *el usuario de servicio*, *el proveedor de servicio*, y *el Punto de Acceso de Servicio* (SAP Server Access Point por sus siglas en ingles). En este contexto, el usuario de servicio es la capa del modelo OSI que pide los servicios de alguna de sus capas adyacentes y el proveedor de servicio es la capa del modelo OSI que proporciona los servicios a los usuarios de servicio.

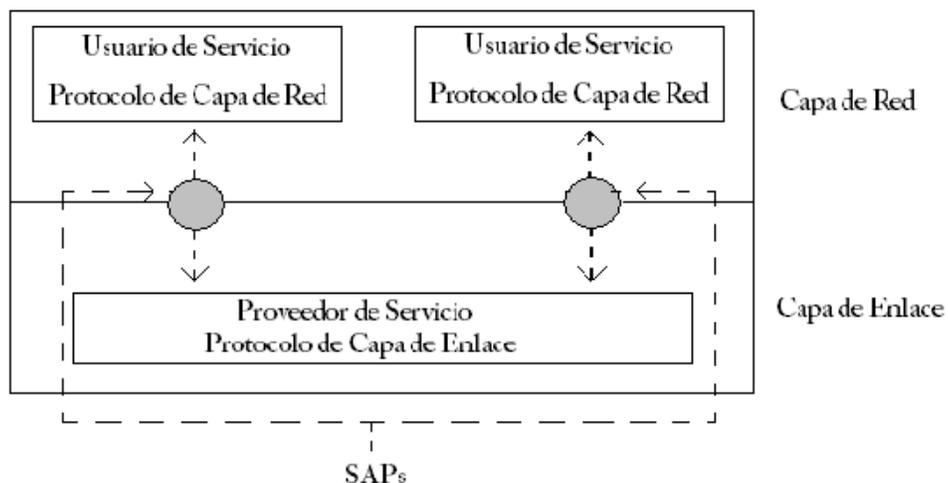


Figura III.7 Usuarios de servicio, proveedores, e interacción con la red y enlace de capas.



Las capas del modelo OSI pueden proporcionar servicios a varios usuarios de servicios. Los SAP son solo una situación conceptual en la cual una capa del modelo OSI puede pedir los servicios de otra capa del modelo OSI. La figura III.7 ilustra cómo estos tres elementos actúan recíprocamente en las capas de red y de enlace.

2.6. CAPAS DEL MODELO OSI E INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.

Las siete capas del modelo OSI usan varias formas de información de control para comunicarse con su capa par de otras computadoras. Esta información de control consiste en peticiones e instrucciones específicas que se intercambian entre las capas del modelo OSI.

Típicamente la información de control toma una de las siguientes dos formas: encabezado ó colas. Los encabezados son los precedentes a los datos, los cuales han pasado a las capas superiores y las colas son añadidas a los datos que igualmente han pasado a las capas inferiores de las capas superiores.

Hay que destacar que una capa inferior del modelo OSI no requiere agregar un encabezado o una cola como información de control a los datos para las capas superiores, es decir que los encabezados o colas van siendo agregados solo por las capas superiores y no al revés.

Los encabezados, colas y datos solo son conceptos relativos, dependiendo de la capa que analiza la unidad de información. En la capa de Red, por ejemplo, una unidad de información consiste en el encabezado de capa 3 y sus datos. Por otro lado, toda la unidad de información que se genera en la capa de Red, es enviada a la capa de Enlace y es tratada como datos de esta, por lo que a su vez se le debe asignar un encabezado o una cola para conformar la trama de la capa de Red. En otras palabras, cualquier porción de datos de una unidad de información puede contener, encabezados, colas y datos de todas las capas superiores del modelo OSI. A este proceso se le conoce como encapsulamiento.

De acuerdo a las convenciones utilizadas por algunos fabricantes de equipo de redes, a la unidad de información correspondiente a la capa 1 Física se le denomina simplemente como “bits”; en cambio para el caso de la capa 2 de Enlace, la unidad de información compuesta por un encabezado y/o cola se le denomina como “trama” (o *frame* en inglés), de igual manera en el caso de la información que transporta las reglas y los procesos de capa 3 de Red se le denomina “paquete” y el término utilizado para las unidades de información de capa 4 de Transporte se le denomina “segmento”.

2.7. PROCESO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.

El proceso de intercambio de información ocurre entre dos capas pares del modelo OSI. Cada capa del sistema fuente agrega información de control a los datos, y cada capa en el sistema del destino analiza y quita la información de control de esos datos.



Si el Sistema **A** tiene datos de una aplicación de software que desea enviar al Sistema **B**, estos datos se pasan a la capa de Aplicación. La capa de Aplicación en el Sistema **A** entonces necesita comunicar cualquier información de control requerida por la capa de Aplicación en el Sistema **B**, y esto lo hace añadiendo un encabezado a los datos. Así la unidad de información resultante (un encabezado y los datos) se pasa a la capa de la Presentación que añade su propio encabezado que contiene la información de control que necesita la capa de Aplicación en el Sistema **B**. La unidad de información va creciendo en tamaño debido a que cada capa agrega su propio encabezado (y, en algunos casos, una cola) el cual contiene información de control que será usada por su capa en el Sistema **B**. Una vez finalizado el proceso de encapsulamiento, la capa Física del Sistema **A** es la encargada de poner dentro del medio de la red toda la unidad de información (“bits”) para que lleguen a su destino en el Sistema **B**.

Una vez que la capa Física del Sistema **B** recibe la unidad de información, esta la pasa a la capa de Enlace. La capa de Enlace en el Sistema **B** lee la información contenida en el encabezado añadido por la capa de Enlace del Sistema **A**. El encabezado es entonces removido y el resto de la unidad de información se pasa a la capa de Red. Cada capa realiza las mismas acciones: La capa lee el encabezado de su capa, y pasa la unidad de información restante a la siguiente capa más alta. Después de que la capa de Aplicación realiza estas acciones, los datos se pasan a la aplicación de software del destinatario del Sistema **B**, en la misma forma en que se transmitió por la aplicación en el Sistema **A**.

A continuación se tratarán con detalle cada una de las funciones de las 7 capas que componen el modelo de referencia OSI.

2.8. CAPA 1: FÍSICA.

La capa Física define las especificaciones eléctricas, mecánicas, procesales, y funcionales para activar, mantener y desactivar la conexión física entre los sistemas de la red.

Las especificaciones técnicas de la capa Física definen características como son los niveles de voltaje, tiempos de cambio de voltaje, las tasas de datos físicos, máxima distancia para la transmisión y los conectores físicos. Las aplicaciones de la capa Física pueden categorizarse también dentro de las especificaciones para las LAN o WAN.

RED	APLICACIONES				
LAN	Ethernet	IEEE802.3	1000Base-T	Token Ring / IEEE802.5	FDDI
WAN	EIA/TIA – 232	EIA/TIA – 449	V.24 V.25	HSSI G.703	X.21 bis SIP

Tabla III.1 Aplicaciones de Capa Física para LAN y WAN.



2.9. CAPA 2: ENLACE.

La capa de Enlace proporciona el tránsito fiable de los datos a través de la conexión física de la red. Las diferentes especificaciones de la capa de enlace definen diferentes características y protocolos de la red, la notificación de errores, la secuencia de las tramas y control de flujo. Sus funciones son las siguientes:

- ↪ El direccionamiento físico define el cómo los dispositivos son disecionados en la capa de enlace.
- ↪ La topología de la red puntualiza las especificaciones que a menudo definen la manera en que los dispositivos son conectados físicamente, como es el ejemplo de una topología bus o una topología anillo.
- ↪ La notificación de errores, alerta a los protocolos de capas superiores que ha ocurrido un error en la transmisión.
- ↪ La secuencia de las tramas reordena las tramas que son enviadas fuera de esta.
- ↪ El control de flujo regula la transmisión de datos para que el dispositivo receptor no se sature con un tráfico mayor del que puede manejar a la vez.

El Instituto de Ingeniería y Electrónica (IEEE) subdivide la capa de Enlace en dos subcapas: **Control de Enlace Lógico** (LLC *Logical Link Control*) y **Control de Acceso al Medio** (MAC *Media Acces Control*).

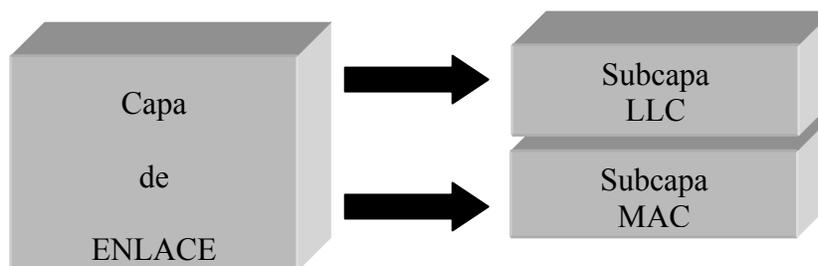


Figura III.8 Subcapas de la Capa de ENLACE.

El Control de Enlace Lógico (LLC) es la subcapa que se encarga de manejar las comunicaciones entre los dispositivos sobre un solo enlace de red. Las especificaciones de la subcapa LLC se encuentran definidas dentro del Estándar IEEE 802.2, y la cual soporta tanto los servicios orientado a conexión y no orientado a conexión usados por los protocolos de capa superior.

El estándar IEEE 802.2 define un número de campos que van en la trama de la capa de Enlace, los cuales permiten a los protocolos de capa superior compartir un solo enlace físico.



El Control de Acceso al Medio (MAC) es la subcapa que maneja el acceso protocolar al medio físico de la red. La especificación de la IEEE MAC define direcciones de MAC las cuales permiten la identificación de los dispositivos de red de manera única dentro de la capa de enlace.

2.10. CAPA 3: RED.

La capa de Red define la manera como se transporta el tráfico entre dispositivos que no se encuentran interconectados de manera local. Para lograr esto, la capa de Red hace uso de dos elementos de información básicos.

- ↪ Asociación de direcciones lógicas, tanto la estación fuente como la estación destino.
- ↪ Definición de rutas a través de la red que permitan alcanzar los destinos deseados.

De igual manera, se definen dos tipos fundamentales de paquetes en la capa de Red:

- I. Paquetes de datos; los cuales incluyen los datos del usuario y la información de control apropiada para capas superiores.
- II. Paquetes para descubrimiento y actualización de rutas. Este tipo de paquetes son enviados y recibidos por dispositivos de capa 3 llamados comúnmente **ruteadores**. Los ruteadores (o enrutadores) son responsables de rastrear que redes existen y como llegar a ellas. Los paquetes de actualización de rutas contienen información acerca de cada red dentro de un entorno de redes definido (a veces denominado como **Internetwork**), la ruta que se debe seguir para alcanzar cada red y el costo o distancia (definidos mediante métricas) que existe entre la red de origen y la red de destino.

Para poder determinar que redes existen en una Internetwork, y en donde se encuentran dichos dispositivos en el contexto de esas redes, se utilizan esquemas de direccionamiento lógico. Estos esquemas varían dependiendo del protocolo de capa de red utilizado.

2.11. CAPA 4: TRANSPORTE.

La capa de Transporte acepta datos de la capa de Sesión y segmenta dichos datos para que sean transportados a través de la red. Generalmente, la capa de Transporte es la responsable de asegurarse que los datos sean entregados libres de errores y en la secuencia apropiada, además también es responsable de realizar tareas de control de flujo.

El control de flujo maneja la transmisión de datos entre dispositivos, esto con el fin de que los dispositivos de transmisión no envíen más datos de los que el dispositivo receptor pueda procesar. La multiplexación, permite que los datos provenientes de varias aplicaciones puedan ser transmitidos dentro de un único enlace físico.

La capa de Transporte también es la encargada de establecer, mantener y terminar circuitos virtuales. La verificación de errores implica, la creación de varios mecanismos para la



detección de errores de transmisión, mientras que en la recuperación de errores, se toman acciones tales como peticiones para que los datos sean retransmitidos para resolver cualquier error que ocurra. Los protocolos de transporte utilizados en Internet son el **TCP**¹² y **UDP**¹³.

2.12. CAPA 5: SESIÓN.

La capa de Sesión, establece, administra y termina las sesiones de comunicación. Las sesiones de comunicación consisten en peticiones de servicios y respuestas de dichos servicios que ocurren entre aplicaciones localizadas en diferentes dispositivos de red. Estas peticiones y respuestas son coordinadas por protocolos implementados en la capa de sesión. Algunos ejemplos de la implementación de la capa de sesión incluyen el **Protocolo de Información de Zona (ZIP Zone Information Protocol)**, el Protocolo **Apple Talk** que coordina el nombre vinculado a un proceso; y el **Protocolo de Control de Sesión (SCP Session Control Protocol)**.

2.13. CAPA 6: PRESENTACIÓN.

La capa de Presentación provee una variedad de funciones para codificar y convertir los datos que serán llevados a la capa de Aplicación, estas funciones aseguran que la información enviada desde la capa de Aplicación de un sistema sea entendible por la capa de Aplicación de otro sistema. Algunos ejemplos del esquema de codificación y conversión de la capa de presentación, incluyen formatos de representación de datos comunes, formatos de representación de conversión de caracteres, esquemas de encriptación de datos comunes.

Los formatos de representación de datos convencionales, o el uso de imágenes, sonido y formatos de video estándares, permiten el intercambio de aplicaciones de datos entre diferentes tipos de sistemas de computadoras. Los esquemas de conversión son utilizados para intercambiar información con sistemas que utilizan diferentes representaciones de texto y datos, tales como **EBCDIC**¹⁴ y **ASCII**¹⁵. Los esquemas de compresión de datos estándar permite que los datos comprimidos por el dispositivo fuente, sean apropiadamente descomprimidos por el dispositivo destino, y los estándares de esquemas de encriptación de datos, permiten la encriptación de datos por el dispositivo fuente para ser apropiadamente descryptado por el dispositivo destino.

Las implementaciones de la capa de Presentación no son típicamente asociadas con una pila de protocolos en particular. Algunos de los estándares conocidos para video son: el QuickTime y el MPEG (Motion Picture Experts Group). El QuickTime es una

¹² **TCP: Protocolo de Control de Transmisión (Transmisión Control Protocol).**

¹³ **UDP: Protocolo de Datagrama de Usuario (User Datagram Protocol).**

¹⁴ **EBCDIC: Código Binario Extendido para Intercambio a Código Decimal (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code).**

¹⁵ **ASCII: Código Americano Estándar para Intercambio de Información (American Estándar code for Information Interchange).**



especificación de Apple para video y audio, y el MPEG es un estándar para compresión y codificación de video.

Entre los formatos más conocidos de imágenes están: el Formato de Intercambio de Gráficos (GIF Graphics Interchange Format), el de Unión Fotográfica de Grupo de Expertos (JPEG Joint Photographic Experts Group), y el Formato Etiquetado de Archivo de Imagen (TIFF Tagged Image File Format). Los cuales son estándares de codificación y compresión de imágenes.

2.14. CAPA 7: APLICACIÓN.

La capa de Aplicación es la capa del modelo OSI más cercana al usuario final, lo cual significa que tanto la capa de Aplicación del modelo OSI y el usuario interactúan directamente con el software de aplicación. Esta capa es la encargada de interactuar con aplicaciones de software que llevan a cabo alguna comunicación. Hay que destacar que tales programas de aplicación caen fuera del alcance del modelo OSI.

Las funciones de la capa de Aplicación típicamente incluyen la identificación de comunicaciones asociadas, la determinación de disponibilidad de recursos. Y la sincronización de comunicación. Cuando son identificadas comunicaciones asociadas, la capa de Aplicación determina la identidad y la disponibilidad de las comunicaciones asociadas por una aplicación con datos a transmitir. Cuando se determinan los recursos disponibles, la capa de Aplicación debe decir si son suficientes los recursos de red para que exista la petición de comunicación. En una comunicación sincronizada, toda la comunicación entre aplicaciones requiere de cooperación, la cual es administrada por la capa de Aplicación. Algunos ejemplos de la implementación de la capa de Aplicación incluyen: Telnet, **FTP Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP File Transfer Protocol)**, **SMTP Protocolo de Transferencia de Correo Simple (SMTP Simple Mail Transfer Protocol)**.

2.15. UNIDADES DE INFORMACIÓN.

Los datos y control de información que son transmitidos a través de las redes toman una variedad de formas. Los términos utilizados para referirse a estas unidades de información no son utilizados consistentemente en la industria de redes y algunas veces intercambiados. Las unidades de información incluyen tramas, paquetes, datagramas, segmentos, mensajes, celdas y unidades de datos.

Una **trama** es una unidad de información asociada a la capa de enlace en la cual se incluye el origen y destino. Una trama está compuesta de un encabezado de la capa de Enlace (y posiblemente una cola) y datos de capas superiores. El encabezado y la cola, contienen información de control la cual es atendida por la capa de Enlace en el sistema destino. Los datos provenientes de capas superiores son encapsulados en la capa de Enlace y colocados en el encabezado y cola.



Un **paquete** es una unidad de información cuya fuente y destino son asociados de la capa de Red. Un paquete está compuesto de un encabezado de la capa de Red (y posiblemente una cola) y datos de capas superiores. El encabezado y la cola contienen información de control entendida por la capa de Red del sistema destino. Los datos provenientes de capas superiores están encapsulados en el encabezado y la cola de la capa de Red.

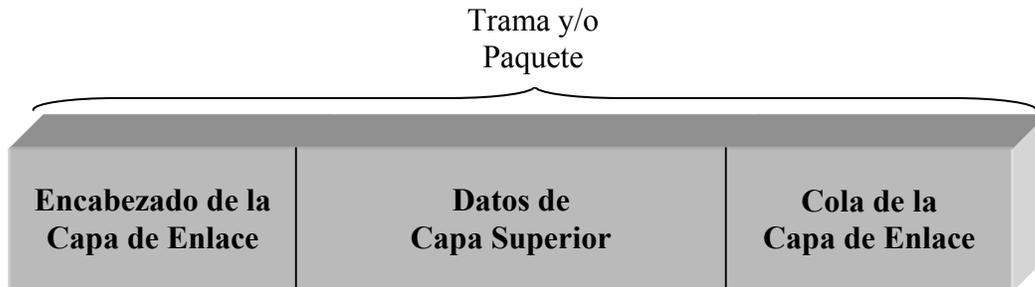


Figura III.9 Componentes básicos de una trama (frame) y/o paquete de la capa de Enlace.

El termino **datagrama** usualmente se refiere a una unidad de información cuyo origen y destino son asociados a la capa de Red, las cuales utilizan servicios de red no orientados a conexión, el término **segmento** usualmente se refiere a una unidad de información cuyo origen y destino son asociados a la capa de Transporte, un **mensaje** es una unidad de información cuyo origen y destino asociado a las capas superiores de capa de Red (frecuentemente a la capa de Aplicación), y finalmente una **celda** es una unidad de información de tamaño fijo cuyo origen y destino son asociados a la capa de Enlace.

Las celdas son utilizadas en ambientes conmutados, tales como ATM Modo de Transferencia Asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*) y redes SMDS Servicio de Datos Multimegabit Conmutado (*Switched Multimegabit Data Service*).

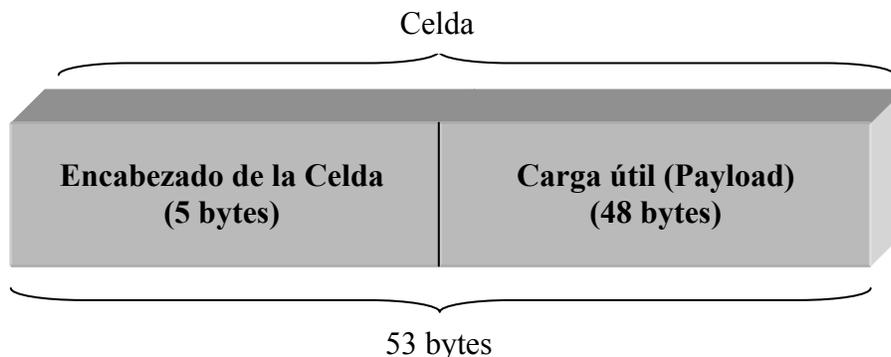


Figura III.10 Componentes que constituyen una Celda Típica.

Una celda está compuesta de un encabezado y carga útil (payload). El encabezado contiene información de control la cual es atendida por la capa de Enlace del sistema destino y su tamaño es de 5 bytes típicamente. La carga útil contiene datos de capas superiores que son encapsulados en la celda, la cual tiene una longitud de 48 bytes típicamente. La longitud de los campos del encabezado y carga útil siempre son los mismos para la celda.



Por último una **unidad de datos** es un término genérico que se refiere a una variedad de unidades de información. Algunas unidades de datos comunes son las Unidades de Datos de Servicios (SDUs *Service Data Units*), unidades de protocolos de datos, y las Unidades de Datos de Protocolo Puente (BPDUs *Bridge Protocol Data Units*). Los SDUs son unidades de información provenientes de protocolos de capas superiores que definen una petición de servicio a un protocolo de capa inferior. El protocolo de Unidad de Datos (PDU *Protocol Data Unit*) es la terminología que usa OSI a un paquete y las Unidades de Protocolo Puente (BPDU *Bridge Protocol Data Unit*) son utilizadas por el algoritmo *spanning-tree* como mensajes de hola.

3. MODELO TCP/IP.

En los inicios de los años 70's fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, un proyecto denominado **ARPANET** (*Advanced Research Project Agency's Network*). Inicialmente se diseñó para que fuera una red experimental de tipo WAN para la comunicación de paquetes, dando como resultado el conjunto de protocolos **TCP/IP**. En 1983 TCP/IP se convirtió en el conjunto de protocolos militares estándar para el diseño de redes.

Un gran número de aplicaciones de red están basadas en lo que se conoce como **TCP/IP** (*Transmisión Control Protocol/Internet Protocol*). TCP/IP no es un protocolo único, sino un conjunto de éstos que cubren los distintos niveles del modelo OSI. Los dos protocolos más importantes son el **TCP** (*Transmisión Control Protocol*) y el **IP** (*Internet Protocol*), que son los que dan nombre al conjunto.

3.1. TCP/IP (Transmisión Internet Protocol / Internet Protocol).

La filosofía de descomposición del problema de la comunicación en capas es similar que en OSI. El problema de OSI es que en una capa, todos los protocolos deben de tener un funcionamiento similar además de utilizar las funciones definidas en la capa inferior y de suministrar funciones a la capa superior. De esta forma, en OSI, dos sistemas deben tener en la misma capa los mismos protocolos.

TCP/IP permite que en una misma capa pueda haber protocolos diferentes en funcionamiento siempre que utilicen las funciones suministradas por la capa inferior y provean a la superior de otras funciones.

En OSI, es imprescindible el paso de una capa a otra pasando por todas las intermedias. En TCP/IP esto no se hace imprescindible y es posible que una capa superior utilice directamente a cualquier capa inferior y no siempre pasando por las intermedias. Por ejemplo, en TCP/IP, una capa de aplicación puede utilizar servicios de una capa IP.



3.1.1. ARQUITECTURA DE TCP/IP.

La arquitectura de éste conjunto de protocolos está dividida en cinco capas, cada una de ellas es relacionada con las capas correspondientes al modelo de referencia OSI.

OSI	TCP/IP
Aplicación	Aplicación
Presentación	
Sesión	Transporte
Transporte	
Red	Internet
Enlace	Interfaz de Red
Físico	Físico

Tabla III.2 Relación Modelo OSI con Modelo TCP/IP.

Cada una de las capas del modelo TCP/IP son brevemente descritas a continuación:

Capa Física: Especifica los requerimientos eléctricos, mecánicos, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre los sistemas terminales; especifica niveles de voltaje, tasas de transmisión, conectores y distancias máximas de transmisión.

Capa de Interfaz de Red: Es equivalente a una parte de la capa Física y a la capa de Enlace de datos del modelo OSI, éste determina el cómo un host accesa a la red.

Para el caso de la resolución de direcciones, se realiza cuando se transforma una dirección lógica en una dirección física o viceversa. El protocolo que se encarga de esta tarea es el *Protocolo de Resolución de Direcciones* (ARP, Address Resolution Protocol) y sus diferentes versiones.

Capa de Internet: La capa de Internet provee el servicio básico de entrega de paquetes a su destino final a través de múltiples redes. También se encarga de la resolución de direcciones lógicas, y de la formación y mantenimiento de las tablas de enrutamiento. Para la parte de enrutamiento, existe un dispositivo llamado Router, que se encarga de transmitir los paquetes en forma independiente a través de la red y determinar el mejor camino para alcanzar su destino.

También se determinan funciones de control para la transmisión de los datos como son TTL (Time to Live), ToS (Type of Service), multicanalización y la fragmentación, al igual que el empleo de ICMP (Internet Control Message Protocol) para proveer mensajes de error. Toda ésta información viene almacenada en el encabezado del protocolo IP.

Capa de Transporte: Coincide con el nivel de transporte y sesión del modelo OSI. Los protocolos de este nivel, tales como TCP y UDP, se encargan de manejar los datos y proporcionar la fiabilidad necesaria en el transporte de los mismos.



Capa de Aplicación: Se corresponde con los niveles de OSI de aplicación. Aquí se incluyen protocolos destinados a proporcionar servicios, tales como correo electrónico (SMTP), transferencia de ficheros (FTP), conexión remota (TELNET) y otros más recientes como el protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

TCP/IP necesita funcionar sobre algún tipo de red o de medio físico que proporcione sus propios protocolos para el nivel de enlace de Internet. Por este motivo se debe tener en cuenta que los protocolos utilizados en este nivel pueden ser muy diversos y no forman parte del conjunto TCP/IP.

Para transmitir información a través de TCP/IP, ésta debe ser dividida en unidades de menor tamaño. Esto proporciona grandes ventajas en el manejo de los datos que se transfieren. En TCP/IP cada una de las unidades de información recibe el nombre de *Datagrama* (datagram), y son conjuntos de datos que se envían como mensajes independientes.

3.2. PROTOCOLOS DE LA CAPA INTERNET.

3.2.1. PROTOCOLO IP (Internet Protocol).

El principal protocolo que opera en la Capa de Internet es el protocolo IP. Es el encargado de identificar cada uno de los paquetes, y definir la ruta que estos deben seguir; ya que indica las direcciones fuente y destino.

IP proporciona un servicio de distribución de paquetes, caracterizado por:

- ↪ Transmisión de datos en datagramas (paquetes con encabezado IP).
- ↪ No está orientado a conexión, por lo que los paquetes que circulan entre los hosts son tratados de forma independiente, lo que origina que cada uno pueda seguir una trayectoria diferente en su viaje hasta el host destino.
- ↪ No es confiable, ya que no implementa mecanismo de verificación de entrega de paquetes, por lo que no garantiza la entrega de los mismos, tampoco la entrega en secuencia, ni la entrega única. Esto queda en manos del protocolo TCP de la capa superior.
- ↪ No implementa corrección de errores.
- ↪ Puede fragmentar los paquetes, si es necesario.
- ↪ Direcciona los paquetes mediante direcciones lógicas IP de 32 bits (IPv4) y de 128 bits (IPv6).
- ↪ Sólo verifica la integridad de la cabecera del paquete en sí, no los datos que contiene.

Las misiones más importantes del protocolo IP, son el direccionamiento y la administración de los paquetes, el protocolo IP examina la topología de la red para determinar la mejor ruta de envío.

Pareciera que IP es un protocolo poco confiable, pero éste es fundamental para poder intercomunicar diferentes redes, hasta el punto de formar el pilar sobre el que se ha



construido Internet. Para dar confiabilidad al sistema se usan tanto los protocolos de las capas superiores como los de la Capa de Enlace de Datos, encargándose IP tan sólo de dar los datos necesarios para el enrutamiento entre los host que se comunican.

El papel de la capa de Internet es averiguar cómo encaminar paquetes o datagramas a su destino final, lo que consigue mediante el protocolo IP. Para hacerlo posible, cada interfaz en la red necesita una dirección IP, que identifica tanto al host como a la red a la que éste pertenece, ya que el sistema de direcciones IP es un sistema jerárquico. Se trata de una dirección única en el ámbito mundial y la concede el Centro de Información de la Red Internet (InterNIC).

3.2.2. PROTOCOLO ICMP (Internet Control Message Protocol).

Otro protocolo que también funciona en la capa de Internet dentro del modelo TCP/IP, es el Protocolo de Mensajes de Control de Errores de Internet (ICMP), la utilidad de este protocolo no está en el transporte de datos de usuario, sino en controlar si un paquete no puede alcanzar su destino, si su vida ha expirado, si el encabezado lleva un valor no permitido, si es un paquete de eco ó respuesta; es decir, se usa para manejar mensajes de error y de control necesarios para los sistemas de red, informando con ellos a la fuente original para que evite o corrija el problema detectado. ICMP proporciona así una comunicación entre el software IP de una máquina y el mismo software en otra.

El protocolo ICMP solamente informa de incidencias en la entrega de paquetes ó de errores en la red en general, pero no toma decisión alguna al respecto, esto es tarea de las capas superiores.

3.3. PROTOCOLOS DE CAPA DE TRANSPORTE.

Las funciones principales de la capa de Transporte son transportar y regular el flujo de información, garantizando la conectividad de extremo a extremo entre aplicaciones de los hosts que se están comunicando en la red, de manera confiable, eficiente y precisa. Para esto, se utilizan los servicios de la Capa de Red.

Los protocolos de transporte tienen la función de actuar de interfaz entre los niveles orientados a la aplicación y los niveles orientados a la red dentro de la jerarquía de protocolos TCP/IP.

3.3.1. PROTOCOLO TCP (Transmission Control Protocol).

En la capa de Transporte aparece un protocolo muy importante para una correcta transmisión de datos entre redes, el Protocolo de Control de Transmisión (TCP). Éste ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red confiables, sin problemas de flujo y con un bajo nivel de errores.



TCP mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras fragmenta y empaqueta la información de la capa de aplicación en unidades de tamaño adecuado, denominadas segmentos, debiendo ocuparse de los datos independientemente del hardware y del software que componga la red con la que se esté trabajando.

Sus principales características son:

- ↪ Es un protocolo orientado a conexión, lo que significa que se establece una conexión entre el emisor y el receptor antes de que se transfieran los datos entre ambos.
- ↪ Divide el mensaje original en datagramas de menor tamaño. Siendo dirigidos a través del protocolo IP de forma individual.
- ↪ TCP numera los datagramas antes de ser enviados, de manera que sea posible volver a unirlos en el orden adecuado. Permitiendo con ello la solicitud del reenvío de datagramas que no hayan llegado, o que contengan errores.

En la transmisión de datos a través del protocolo TCP la fiabilidad es un factor muy importante. Para poder detectar los errores y pérdida de información en los datagramas, es necesario que el cliente envíe de nuevo al servidor unas señales de confirmación, una vez que se ha recibido y comprobado la información satisfactoriamente.

Estas señales se incluyen en el campo apropiado de la cabecera del datagrama (Acknowledgment Number), que tiene un tamaño de 32 bits. Si el servidor no obtiene la señal de confirmación adecuada transcurrido un período de tiempo razonable, el datagrama completo se volverá a enviar.

3.3.2. PROTOCOLO UDP (User Datagram Protocol).

El protocolo de datagramas de usuario (UDP) puede ser la alternativa al TCP en algunos casos en los que no sea necesario el gran nivel de complejidad proporcionado por TCP. Puesto que UDP no admite numeración de los datagramas, éste protocolo se utiliza principalmente cuando el orden en que se reciben los mismos no es un factor fundamental, o también cuando se quiere enviar información de poco tamaño que cabe en un único datagrama.

Cuando se utiliza UDP la garantía de que un paquete llegue a su destino es mucho menor que con TCP, esto debido a que no se utilizan las señales de confirmación. Por todas estas características la cabecera del UDP es bastante menor en tamaño que la de TCP.

Un ejemplo típico de una situación en la que se utiliza el UDP es cuando se pretende conectar con un servidor a la red, utilizando para ello el nombre del sistema. Este nombre tendrá que ser convertido a la dirección de IP que le corresponde y, por tanto, tendrá que ser enviado a algún servidor que posea la base de datos necesaria para efectuar la conversión. En este caso es mucho más conveniente el uso de UDP.



3.4. PROTOCOLOS DE SEGURIDAD EN IP: IPSec.

IPSec es un estándar que proporciona servicios de seguridad a la capa IP y a todos los protocolos superiores basados en IP (TCP, UDP, entre otros).

Este protocolo se destaca por ser un conjunto de estándares de la IETF (Internet Engineering Task Force). Proporciona un nivel de seguridad común y homogénea para todas las aplicaciones, además de ser independiente de la tecnología física empleada. IPSec se integra en la versión actual de IP(v4) y lo que es mejor, se incluye por defecto en IPv6.

Dentro de IPSec se distinguen los siguientes componentes:

- ↪ Dos protocolos de seguridad: Encabezado de autenticación (IP Authentication Header, AH-RFC 2402) y Encapsulamiento Seguro de la carga útil IP (IP Encapsulating Security Payload, ESP-RFC 2406), los cuales proporcionan mecanismo de seguridad para proteger el tráfico IP.
- ↪ Un protocolo de gestión de claves de Intercambio de llaves de Internet (Internet Key Exchange, IKE-RFC 2409) que permite a dos nodos negociar las claves y todos los parámetros necesarios para establecer una conexión AH o ESP.

El protocolo AH es el procedimiento previsto dentro de IPSec para garantizar la integridad y autenticación de los datagramas de IP. Proporciona un medio al receptor de los paquetes IP para autenticar el origen de los datos y para verificar que dichos datos no hayan sido alterados durante tránsito por la red. Sin embargo, no proporciona garantía de confidencialidad, es decir, los datos transmitidos pueden ser vistos por terceros.

El protocolo ESP proporciona confidencialidad, para ello especifica el modo de cifrar los datos que desean enviar y este cifrado se incluye en un datagrama IP. Adicionalmente, puede ofrecer los servicios de integridad y autenticación del origen de los datos incorporando un mecanismo similar al de AH.

Un concepto esencial en IPSec es el de Asociación de Seguridad (SA), el cual es un canal de comunicación unidireccional que conecta dos nodos, a través del cual fluyen los datagramas protegidos mediante mecanismos criptográficos acordados previamente por los nodos que intervendrán en la comunicación.

4. ESTÁNDARES DE REDES.

El **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) desarrolló una serie de estándares conocidos como IEEE 802.x para redes de área local. Estos estándares fueron adoptados por ISO.

El estándar IEEE 802.x está integrado por varios subcomités que están organizados de la siguiente manera:



Estándar	Descripción
802.1	Interfaces de redes de alto nivel y puentes MAC (HLI, High Level Interface).
802.2	Control de enlace lógico (LLC, Logical Link Control).
802.3	Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection).
802.4	Token Bus.
802.5	Token Ring.
802.6	Redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Network).
802.7	Grupo asesor para técnicas de banda ancha (Broadband Technical Advisory Group).
802.8	Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra Óptica (FDDI).
802.9	Redes Integradas por voz y vídeo (Integrated Data and Voice Networks).
802.10	Seguridad de red (LAN Security).
802.11	Redes inalámbricas (Wireles LANs).
802.12	LAN de acceso de prioridad por demanda (100VG Anylan).
802.14	Cable de T.V.
802.15	Redes inalámbricas de área personal (Wireles Personal Area Networks).

Tabla III.3 Estándares de Redes.

Estos estándares cubren la capa Física y la capa de Enlace de datos del modelo de referencia OSI.

Para el presente trabajo sólo se mencionarán las funciones principales de 6 de estos estándares, que son considerados de gran utilidad y mejor comprensión de la temática tratada en el mismo, dichos estándares son: **802.3, 802.4, 802.5, 802.6, 802.8 y 802.9.**

4.1. ETHERNET.

Entre las tecnologías de redes más simples encontramos las redes de área local (LAN, *Local Area Network*). Las redes de área local adquieren diversas tecnologías que definen el comportamiento de la información, la más común es conocida como **ETHERNET**, la cual se divide en tres principales categorías dependiendo de su velocidad de transmisión, que son:

- ↗ Ethernet e IEEE 802.3 que opera a 10Mbps.
- ↗ Fast Ethernet, que opera a 100 Mbps.
- ↗ Gigabit Ethernet que opera a 1 Gbps.

4.1.1. CARACTERÍSTICAS.

Ethernet ha substituido como medio esencial de casi cualquier red debido a su gran flexibilidad y facilidad de implementación y entendimiento.



Ethernet fue desarrollado a principios de los setentas para operar a una velocidad de 10 Mbps sobre cable coaxial. En 1980 fue desarrollado el estándar por el Instituto de Ingeniero Eléctricos y Electrónicos (IEEE) denominado IEEE 802.3 basado en la idea original de Ethernet pero con una mayor variedad de aplicaciones.

El estándar **IEEE 802.3** es importante para una red de área local con protocolo **CSMA/CD Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)**; pues cuando una estación quiere transmitir, escucha el cable. Si el cable está ocupado, la estación espera hasta que se desocupa; de otra manera, transmite de inmediato. Si dos o más estaciones comienzan a transmitir simultáneamente por un cable inactivo, habrá una colisión. Todas las estaciones en colisión terminan entonces su transmisión, esperan un tiempo aleatorio y repitan una vez más el proceso.

El nombre Ethernet¹⁶ hace referencia al cable. Cada estación equipada con Ethernet¹⁷, opera de forma independiente de todas las demás estaciones sobre la red, es decir, no existe un controlador central. Todas las estaciones unidas en un sistema Ethernet son conectadas a un sistema de señal compartido, también llamado bus o backbone. Las señales Ethernet son transmitidas de forma serial, un bit a la vez sobre el canal de señal compartido, el cual es recibido por cada estación conectada al bus. El acceso al canal compartido es determinado por un método de control de acceso (MAC) llevado a cabo en cada interfaz Ethernet localizado en cada estación, Ethernet ocupa el mecanismo de control de acceso al medio **CSMA/CD**. Comúnmente se utilizan cinco tipos de cableado, como lo muestra la tabla III.4.

	10Base5²⁰	10Base2	10BaseT	10BaseF
Medio de Transmisión	Coaxial grueso	Coaxial delgado	Par trenzado (UTP)	Fibra Óptica
Diámetro del Cable (mm)	10	5	0.4 - 0.6 (22 – 26 AWG)	---
Tasa de transmisión de datos (Mbps)	10	10	10	10
Segmento máximo	500	200	100	25000
Nodos por segmento	100	30	1024	1024
Ventajas	Bueno para backbone	Sistema económico	Fácil mantenimiento	Mejor entre edificios

Tabla III.4 Los tipos de medios más comunes en LANs 802.3.

¹⁶ Es frecuente que se use incorrectamente el término “Ethernet” en un sentido genérico para referirse a los protocolos CSMA/CD, cuando en realidad se refiere a un producto que casi implementa el 802.3.

¹⁷ Ethernet por *éter luminífero*, a través del cual alguna vez se pensó que se propagaba la radiación electromagnética.



4.2. 10BaseF.

Otra opción de cableado en el 802.3 es 10BaseF, que usa fibra óptica para redes Ethernet, la cual es de uso frecuente para cubrir largas distancias (hasta 2 Km., entre repetidores). Es también de uso para cableado (backbone) entre edificios. 10BaseF utiliza la transmisión de datos por medio de pulsos de luz y no por medio de corriente eléctrica, lo que implica que tiene una excelente inmunidad contra el ruido.

Otra de las ventajas que se presentan con 10BaseF es la enorme distancia a la que puede extenderse un segmento de fibra óptica (2 Km), además de que soporta velocidades de transmisión mayores a 10 Mbps.

4.2.1. LOS ESTÁNDARES 10BaseF y FOIRL.

Existen 2 tipos de enlace entre segmentos con fibra óptica, el segmento original *Fiber Optic Inter-Repeater Link* (FOIRL) y el segmento 10BaseFl. La especificación original FOIRL establece un segmento de hasta un kilómetro de distancia entre dos repetidores únicamente.

El conjunto de estándares conocidos como 10BaseF, incluyen especificaciones para un segmento de enlace con fibra óptica que permite conectar directamente a estaciones. Este conjunto completo de especificaciones 10BaseF incluye 3 tipos de segmentos:

- ↪ **10BaseFL.** Este estándar reemplaza las anteriores especificaciones FOIRL, y fue diseñado para inter operar con el equipo basado en FOIRL existente. 10BaseFL establece un segmento de enlace de fibra óptica de hasta 2 Kms. de longitud, previendo que solamente equipo 10BaseFL sea utilizado en el segmento. Si se combinan 10BaseFL con equipo basado en FOIRL, entonces la longitud máxima disminuye a un kilómetro por segmento. Un segmento 10BaseFL puede ser conectado entre dos estaciones, dos repetidores o entre una estación y un puerto de repetidor.
- ↪ **10BaseFB.** Este estándar describe un segmento de cableado principal (backbone) de señal síncrona que permite que el límite de número de repetidores que pueden ser usados en un sistema Ethernet a 10 Mbps pueda ser excedido. Típicamente los enlaces 10BaseFB realizan la conexión entre concentradores repetidores, y son usados para enlazar concentradores repetidores de señal síncrona 10BaseFB especiales, juntos en un sistema de cableado principal (backbone) repetido que puede expandirse hasta 2 Kms. de longitud.
- ↪ **10BaseFP¹⁸.** El sistema de fibra pasiva establece un conjunto de especificaciones para un segmento combinado de fibra óptica que enlaza múltiples estaciones sobre un sistema de medio de fibra sin uso de repetidores. Los segmentos 10BaseFP pueden alcanzar hasta 500 m de longitud. El uso de un solo empalme en estrella pasiva de 10BaseFP puede enlazar hasta 33 estaciones.

¹⁸ Este sistema no ha sido ampliamente adoptado desde su creación y el equipo no está disponible por distribuidores.



4.3. FAST ETHERNET (IEEE 802.3u).

Fast Ethernet es un estándar (IEEE 802.3u) para LANs de alta velocidad con las mismas características que Ethernet, pero ofreciendo un incremento en el ancho de banda al usuario final con un mínimo de cambios en su estructura.

100BaseT es la especificación de la IEEE para la implementación de Ethernet a 100 Mbps para un medio de tipo cable UTP (Unshielded Twister-Pair) ó bien STP (Shielded Twister-Pair). El control de acceso al medio (MAC) es igual al estándar IEEE 802.3 Ethernet al igual que el formato y tamaño de la trama y el mecanismo de detección de errores, soporta todas las aplicaciones y software utilizados en IEEE 802.3 y puede operar con ambas tasas de transmisión, 10 y 100 Mbps. Fast Ethernet puede funcionar en semiduplex o en duplex completo.

100BaseT utiliza principalmente 3 medios físicos en la capa 1 del modelo OSI que son:

- ↪ 100BaseTX.
- ↪ 100BaseFX.
- ↪ 100BaseT4.

	100BaseT4	100BaseTX	100BaseF
Medio de Transmisión	Par trenzado (UTP) categoría 3,4 y 5.	Par trenzado (UTP o STP) categoría 5	Fibra óptica 2 fibras de 62.5/125 micrones multimodo
Tasa de transmisión de datos (Mbps)	100	100	100
Características principales	Para voz o grado de datos (Half Dúplex)	Para datos (Half o Full Dúplex)	Half o Full Dúplex
Segmento máximo (m)	100	100	2000
Ventajas	Usa UTP categoría 3	Dúplex integral a 100 Mbps	Dúplex integral a 100 Mbps; soporta tramos grandes

Tabla III.5 Medios de Transmisión para Fast Ethernet.

4.4. GIGABIT ETHERNET (IEEE 802.3z).

Este es un agregado al estándar 802.3, donde se especifica la versión más reciente de Ethernet, *Gigabit Ethernet*, la cual ofrece un ancho de banda real de 1000 Mbps (1 Gbps) para el campus de una red de computadoras con la simplicidad de su antecesor. Gigabit Ethernet mantiene todos los formatos de paquetes, interfaces y reglas de procedimiento de Ethernet.



La capa física de Gigabit Ethernet es una mezcla de tecnologías comprobadas para el Ethernet original (802.3). Gigabit Ethernet soporta 4 tipos de medios definidos en el estándar 1000BaseT y el 1000BaseX. El medio 1000BaseX está basado en la Capa Física del Canal de Fibra, el cual es una tecnología de interconexión en estaciones de trabajo, supercomputadoras, dispositivos de almacenamiento y periféricos. El canal de fibra tiene 4 capas de arquitectura. Las dos más bajas, capas FC-0 (Interface y Media) y FC-1 (Codificación/Decodificación) son usadas en Gigabit Ethernet. Los tres tipos de media especificados en 1000BaseX son:

- ↳ 1000BaseSX 850nm láser en fibra multimodo y onda corta (SW).
- ↳ 1000BaseLX 1300 nm láser en fibra modo simple y multimodo, onda larga (LW).
- ↳ 1000BaseCX Short haul copper “Twinax” STP cable.

En la tabla III.6 se presentan las distancias que soportan los tipos de medio 1000BaseX: 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 1000BASE-CX y 1000BASE-T.

	1000BaseSX	1000BaseLX	1000BaseCX	1000BaseT
Rango de Datos	1000 Mbps	1000 Mbps	1000 Mbps	1000 Mbps
Longitud de onda óptica (nominal)	850 nm (SX)	1300 nm (LX)	N/A	N/A
Fibra multimodo (50m (distancia))	525 m	550 m	N/A	N/A
Fibra multimodo (62.5m (distancia))	260 m	550 m	N/A	N/A
Fibra modo simple o monomodo (10mm (distancia))	N/A	3 Km	N/A	N/A
UTP-5 100ohms (distancia)	N/A	N/A	N/A	100 m
STP 150 ohms (distancia)	N/A	N/A	25 m	N/A
Numero de pares de alambre/fibra	2 fibras	2 fibras	2 pares	4 pares
Tipo de conector	Duplex SC	Duplex SC	Fiber Chanel-2	RJ-45

Tabla III.6 Medios de Transmisión para Gigabit Ethernet.

4.5. GIGABIT ETHERNET SOBRE FIBRA ÓPTICA.

En junio de 1998, la IEEE aprobó un estándar Gigabit Ethernet sobre cable de Fibra Óptica (IEEE 802.3z) publicando el documento EIA/TIA 568B.3. En este documento se encuentra al contenido técnico para cableados de Fibra Óptica referenciados por la TIA 568B.1, especificando los componentes y requerimientos de transmisión para sistemas de cableado de Fibra Óptica (ejemplo conectores y cables).



Con la aprobación de 802.3z, las empresas podían hacer uso de una tecnología probada y estandarizada para mejorar el flujo de tráfico en áreas de red congestionadas.

Las características que se deseaban y se tomaron en cuenta al hacer el estándar fueron las siguientes:

- ↪ Compatibilidad con Ethernet y Fast Ethernet: Uno de los aspectos más importantes era que se mantuviera la compatibilidad con las especificaciones de Ethernet, para así no tener que cambiar todos los programas y protocolos ya implementados, sino poder seguir usando los mismos. Entre los aspectos de Ethernet que se deseaban mantener iguales están: *el formato del frame, el tamaño mínimo y máximo de un frame (64 bytes y 1514 bytes) y el protocolo CSMA/CD.*

- ↪ Se deseaba también que el estándar soportara varios distintos medios físicos, especialmente Fibra Óptica.

CAPITULO IV

“SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA”



... El éxito en la vida de un hombre está en prepararse para aprovechar la ocasión cuando se le presente.

BENJAMIN DISRAELI.

1. SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN.

La comunicación se define como la transmisión de información de un lugar a otro. Esta transmisión se hace entre un transmisor y un receptor. La información se presenta bajo la forma de diversas señales, que tienen un significado preciso para el transmisor y para el receptor. Si la comunicación es directamente entre dos personas, dichas señales pueden ser sonidos o imágenes; o bien, pueden ser señales eléctricas si la comunicación se hace entre dos aparatos electrónicos. Las señales pueden tomar una forma particular (código) cuyo sentido lo conocen tanto el transmisor como el receptor.

Las telecomunicaciones se definen como comunicaciones a distancia. Por tanto, se excluyen las comunicaciones directas entre dos personas por medio de la voz o de la vista, las cuales sólo son posibles a corta distancia. Así pues, las señales que se van a transmitir serán señales eléctricas.

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

Un sistema de telecomunicaciones se compone de tres elementos principales:

- ↪ Equipo Transmisor.
- ↪ Medio de Transmisión.
- ↪ Equipo Receptor.



Figura IV.1 Sistema de telecomunicaciones.

Con el transcurso del tiempo y la evolución de los sistemas de comunicación, particularmente en los sistemas digitales, el modelo anterior ha sufrido algunas modificaciones, con el fin de especificar mejor algunos elementos constitutivos del modelo anterior, en la figura IV.2 se muestran las fases que constituyen el sistema.

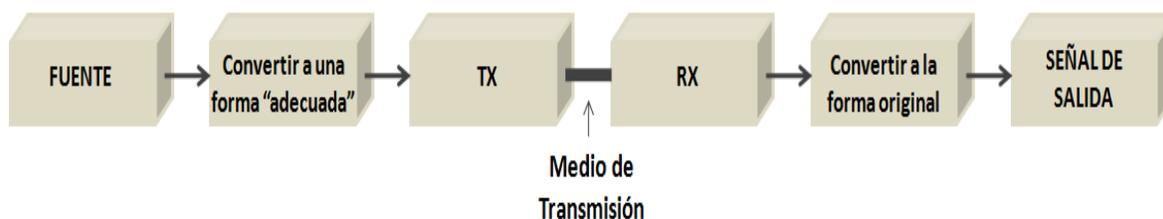


Figura IV.2 Fases de un Sistema de Telecomunicaciones.

Este modelo es también suficientemente general y el papel de cada uno de los bloques se describe de la forma siguiente:



El **emisor** debe convertir la señal a un formato que sea reconocible por el canal.

La vía o **Medio de Transmisión** tiene la función de transportar la información entre el transmisor y el receptor. Esta vía de comunicación puede consistir en:

- ↳ Alámbricas.
 - ↳ Cables.
 - ↳ Fibras Ópticas.

- ↳ Inalámbricas.
 - ↳ Espacio Libre.

El **receptor** acepta la señal del canal y la procesa para permitir que el usuario final la comprenda.

Los sistemas de telecomunicación deben responder a exigencias particulares como:

- ↳ Tener una capacidad máxima de transferencia de información.
- ↳ Ser de fácil utilización.
- ↳ Ser fiables.
- ↳ Tener el menor costo posible.

Se denomina transmisión de datos a la transferencia de información, en forma de voz, texto o imagen. Con la tecnología electrónica, esta información viaja a grandes distancias y a una velocidad muy alta.

2. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS.

Los recientes progresos de la tecnología en rayos láser semiconductores y en fibras ópticas de baja atenuación hace posible la realización de Sistemas de Telecomunicación mediante fibras ópticas como canal de transmisión. Es importante conocer su estructura general, así como las ventajas potenciales de su utilización en diversos campos.

La fibra óptica es un medio de transmisión de información analógica o digital en la cual los principios básicos de funcionamiento se justifican de forma clara, aunque poco rigurosa, aplicando las **leyes de la óptica geométrica**.

2.1. TIPOS DE SEÑALES A TRANSMITIR.

En esencia, las comunicaciones electrónicas se basan en la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos. Toda la información debe convertirse a *energía electromagnética*, antes de que pueda propagarse por un sistema de comunicaciones electrónicas.



Las señales eléctricas, se pueden clasificar en dos tipos:

- ↪ **Analógica:** La señal transmitida es capaz de tomar todos los valores dentro de un rango de tiempo continuo.
- ↪ **Digital:** La señal transmitida solo es capaz de tomar un número finito de valores (0 y 1 por ejemplo); es decir, valores discretos en valores de tiempo.

2.2. SISTEMAS ANALÓGICOS Y DIGITALES.

Un sistema analógico es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma **analógica (una señal variando continuamente tal como una onda senoidal)**; asimismo, un sistema digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma **digital (niveles discretos tal como +5 V y tierra)**. Los sistemas binarios utilizan señales digitales que sólo tienen dos niveles discretos. Frecuentemente la información de la fuente de origen está en una forma que no es la adecuada para la transmisión y debe convertirse a una nueva. En el punto de recepción, al modular la señal portadora, se lleva a cabo el proceso inverso.

Cuando la representación de un objeto es muy cercana a su forma original, se dice que esa representación es análoga, hoy en día en el ámbito de las comunicaciones de datos se utiliza el término analógico para referirse a una señal que está constantemente cambiando en proporción a lo que esta representa. Una señal analógica contiene muchos valores o niveles dentro de un cierto rango en forma continua, mientras que una señal digital, representa la información usando solo dos valores, por lo que se dice que una señal digital es discreta.

2.3. CONVERSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL.

La **digitalización** o **conversión analógica-digital** (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud de la señal y traducirlas a un lenguaje numérico. La conversión A/D también es conocida por el acrónimo inglés **ADC (Analogic to Digital Converter)**.

En esta definición están patentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica-digital:

- ↪ **Muestreo:** El muestreo (en inglés, *sampling*) consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.
- ↪ **Retención** (en inglés, *hold*): Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (*hold*), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático.



- ↪ **Cuantificación:** En el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación.
- ↪ **Codificación:** La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

El proceso de cuantificación y codificación, implementa un algoritmo no lineal, de manera de obtener una calidad de señal óptima; minimizando la cantidad de “niveles de cuantificación”.

2.3.1. LEYES DE CUANTIFICACIÓN (LEY “A” y LEY “μ”)

La CCITT (Actualmente ITU-T) ha estandarizado dos **Leyes de Cuantificación**¹⁹ estas leyes estandarizan en 256 niveles no lineales la cuantificación y codificación, basadas en las formulas siguientes:

Ley A (De 13 segmentos)

$$y = \frac{1+\log(Ax)}{1+\log A} \quad \text{Para } \frac{1}{A} \leq x \leq 1; \quad A = 87.6 \quad \dots 44$$

$$y = \frac{Ax}{1+\log A} \quad \text{Para } 0 < x < \frac{1}{A}; \quad A = 87.6 \quad \dots 45$$

Ley μ (De 15 segmentos)

$$y = \frac{\log(1+\mu x)}{\log(1+\mu)} \quad \text{Para } 0 < x \leq 1; \quad \mu = 255 \quad \dots 46$$

2.4. TÉCNICA DE TRANSMISIÓN DIGITAL.

Las principales funciones de la técnica de transmisión digital son: la conversión de señales analógicas en digitales (principalmente voz), la formación en multiplex de señales digitales y la transmisión de estas señales digitales, por ejemplo a través de fibras ópticas. Con la introducción de la técnica digital se han creado las condiciones para una integración de los servicios tales como telefonía, télex, transmisión de datos y telecopiado, entre otras.

Para ello, se fijaron sistemas de transmisión, los cuales serán tratados en el Capítulo V Transporte de Información en Fibra Óptica.

¹⁹ Recomendación G.711: “Pulse Code Modulation (PCM) of voice frequencies” CCITT, (1988).

2.5. DIAGRAMA DE UN ENLACE.

Un sistema de comunicación por fibra óptica está constituido por tres elementos (figura IV.3):

- ↪ Un módulo de emisión, que tiene por función transformar la información en forma de señal eléctrica a información en forma de luz. A este módulo se le llama emisor óptico.
- ↪ Un canal de transmisión de la luz, que es la fibra óptica.
- ↪ Un módulo de recepción, que tiene por función transformar la información óptica recibida en información con la forma de señal eléctrica; se le llama receptor óptico.



Figura IV.3 Sistema de comunicación por fibra óptica.

Las transmisiones a distancia demasiado grandes pueden necesitar la utilización de uno o varios repetidores, cuya función es amplificar la señal óptica. Un repetidor está constituido por un receptor óptico seguido por un emisor óptico (figura IV.4).

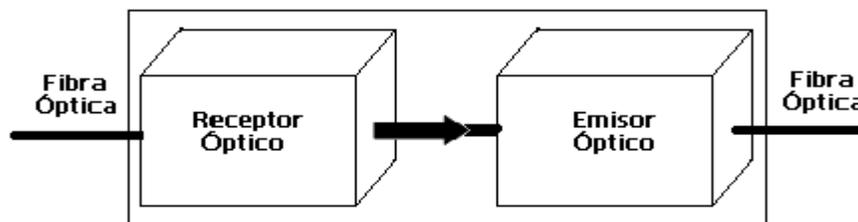


Figura IV.4 Repetidor óptico.

El emisor óptico contiene la fuente de luz, que puede ser un diodo electroluminiscente o un diodo láser. El emisor óptico contiene al receptor óptico, el cual puede ser un fotodiodo o un fototransistor. El emisor y el receptor ópticos están dotados de conectores que permiten acoplar la fuente y receptor de la luz a la fibra.

El canal de transmisión puede contener conectores que le permitan acoplar dos fibras entre sí (figura IV.5).

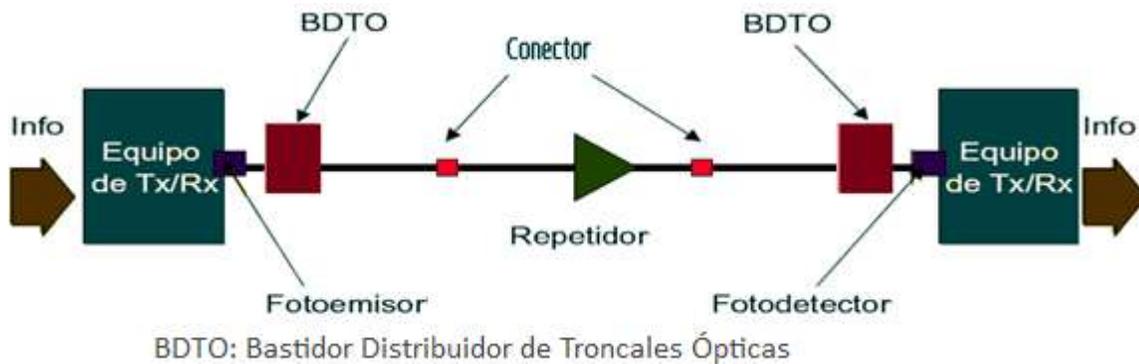


Figura IV.5. Sistema general de comunicación por fibra óptica con conectores.

Los transmisores y receptores; también conocidos como equipos de línea; son equipos electrónicos activos, son los encargados de posibilitar la transmisión de las señales ópticas a través de la fibra óptica y, en función del tipo de equipo, realizan la conversión opto-eléctrica y/o la conversión electro-óptica de la señal presente en la entrada.

3. TRANSMISORES ÓPTICOS.

El transmisor óptico de un sistema de comunicación por fibra óptica es compuesto por un **modulador** y una **fuentes de luz** asociada. Una fuente de información genera la señal que se desea transmitir y la envía para ser adaptada para la transmisión en el modulador.

Los transmisores constituyen uno de los elementos fundamentales en las redes de comunicaciones ópticas, su componente básico es el **convertidor electro-óptico** que realiza la conversión de la señal eléctrica de datos en una señal óptica o haz lumínico adecuado para su propagación por la fibra óptica.

La señal óptica debe seguir las variaciones y transiciones de su homónima eléctrica, por lo que se hace necesaria la inclusión de un circuito de modulación del haz lumínico generado por la fuente de luz.

En el caso de que la fuente de luz utilizada sea un diodo láser se debe disponer de un circuito de polarización que estabilice la corriente de excitación del láser dentro de la zona de ganancia o de efecto láser.

La estabilización de la corriente de excitación del diodo láser permite mantener constante la potencia lumínica de salida y se realiza en función de la corriente umbral de polarización continua y de la corriente de modulación variable en el tiempo, conforme las variaciones de la señal por transmitir de forma continua con un circuito de control y estabilización de la temperatura.

La estabilidad en el punto de trabajo y por tanto en la potencia lumínica de salida de un diodo láser es un factor determinante en la vida útil del mismo.



En las fuentes de luz implementadas con diodos led existe un circuito de control y estabilización de la potencia lumínica generada por la fuente de luz análogo al utilizado en las fuentes implementadas con diodos láser, calibrado para no superar un determinado umbral de potencia lumínica se salida y que garantiza una vida útil de la fuente de luz.

Consecuentemente se puede afirmar que el parámetro fundamental que hay que controlar en los transmisores ópticos es la estabilidad de la potencia lumínica de salida del transmisor. Los dos factores de los que básicamente depende la misma son la temperatura y las horas de funcionamiento del transmisor óptico.

En el caso de los diodos láser la estabilidad depende en una gran medida de las horas de funcionamiento puesto que los diodos láser se degradan muy rápidamente con el aumento de las mismas, mientras que en el caso de los diodos led su dependencia de las horas de funcionamiento es de un orden menor.

3.1. EQUIPOS DE FOTOEMISIÓN.

La idea de transmitir información por medio de luz tiene siglos de antigüedad. De hecho, los clásicos heliógrafos y la transmisión de señales por antorchas responden a esta idea.

Hacia 1880. Bell construyó un aparato “el fotófono” que enviaba señales vocales a corta distancia por medio de la luz. El equipo disponía de un sistema de lentes que enfocaban un rayo de luz solar, modulándolo y lanzándolo después al espacio libre hacia un receptor. Conceptualmente, era correcto; sin embargo, su aplicación no fue posible, tanto por la falta de fuentes de luz adecuadas como de un medio de propagación de bajas pérdidas, y la idea se abandonó.

3.2. FUENTES ÓPTICAS.

Las fuentes ópticas son transductores cuya función fundamental es convertir energía eléctrica en energía óptica (luz) de una forma eficiente, que permita que la salida sea efectivamente acoplada a la fibra óptica. Los requerimientos de las fuentes pueden ser variados, pero todas tienen dos funciones básicas:

- ↳ Deben radiar energía luminosa suficiente de una longitud de onda particular, hacia la región de interés o hacia el componente que la utilice.
- ↳ Deben mantener una intensidad de luz constante y regulada, para el uso apropiado del dispositivo.

Las fuentes forman parte de los componentes clave en las comunicaciones ópticas. Deben ser compactas, monocromáticas, estables y de larga duración; es decir, que tengan una vida útil considerable; también deben cumplir otros requisitos no menos importantes:



- ↪ Alta fiabilidad con los cambios de temperatura.
- ↪ Alta potencia de salida y pobreza espectral suficiente en los casos de largas secciones de regeneración.
- ↪ La fuente debe admitir en su interior la modulación a la velocidad de transmisión del sistema, aunque últimamente puede obviarse esta condición acudiendo a moduladores exteriores a la propia fuente.

En la práctica no hay fuentes de luz monocromáticas, hay sólo fuentes que emiten luz dentro de una banda estrecha de longitudes de onda.

Entre las diferentes fuentes ópticas que existen, los diodos láser (LD) y los diodos emisores de luz (**LED “Light Emiter Diodo”**) son los únicos que satisfacen todos los requerimientos exigidos por los sistemas de telecomunicaciones. Actualmente, la instalación de sistemas de comunicaciones por fibras ópticas se ha difundido ampliamente, debido principalmente a dos factores:

- ↪ La enorme capacidad de transmitir información.
- ↪ El costo relativamente bajo.

Estos logros han sido posibles gracias a los grandes avances tecnológicos: *desarrollo de fibras de vidrio con bajas pérdidas y grandes anchos de banda; desarrollo de dispositivos ópticos de alta calidad y confiabilidad* (fuentes ópticas LED, LD, detectores ópticos PIN y APD).

3.3. DIODO EMISOR DE LUZ (LED).

Los diodos luminiscentes son fuentes incoherentes; generan luz por emisión espontánea, radiándola en todas direcciones, por tanto, no es posible acoplar la luz eficiente en todos los tipos de fibra.

Los Leds trabajan según el principio de luminiscencia de inyección. En ciertos semiconductores, durante el proceso de recombinación de los electrones con los huecos, en la región de ensambladora de las regiones dopadas con electrones (N) y con huecos (P), se emite energía en forma de luz.

3.3.1. FUNCIONAMIENTO DEL LED.

Cuando el diodo está polarizado inversamente o no hay polarización alguna, no hay inyección de portadores minoritarios. En la figura IV.6, se observa la representación de un diodo sin polarización. Al estar el diodo polarizado en sentido directo se inyectan electrones, portadores de carga, en la zona neutra 'n' y 'p' (zona de carga especial) que es la región de la unión. Esta queda enriquecida con electrones y huecos que se recombinan unos con otros, pasando el electrón de la banda de conducción a la banda de valencia. En cada transición se emite energía, su valor es igual a +E banda conducción –E banda valencia. En el caso de los diodos luminiscentes la energía es irradiada en forma de fotones.

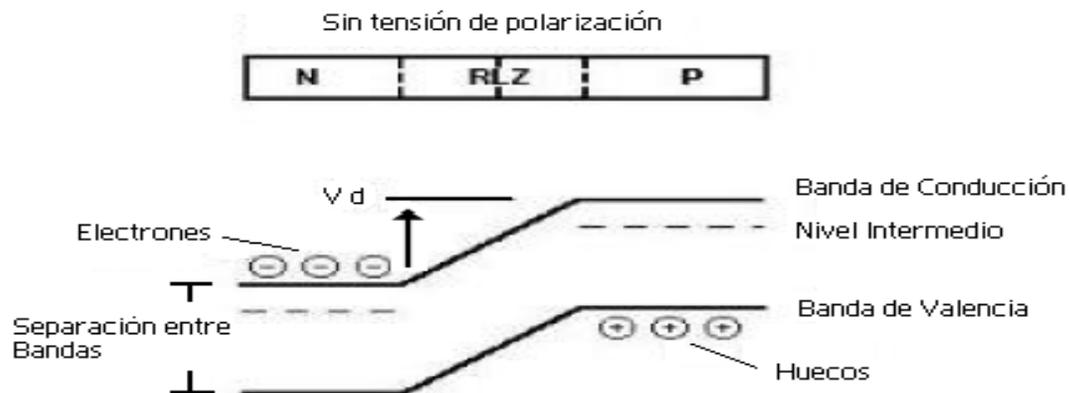


Figura IV.6 Diodo sin polarizar.

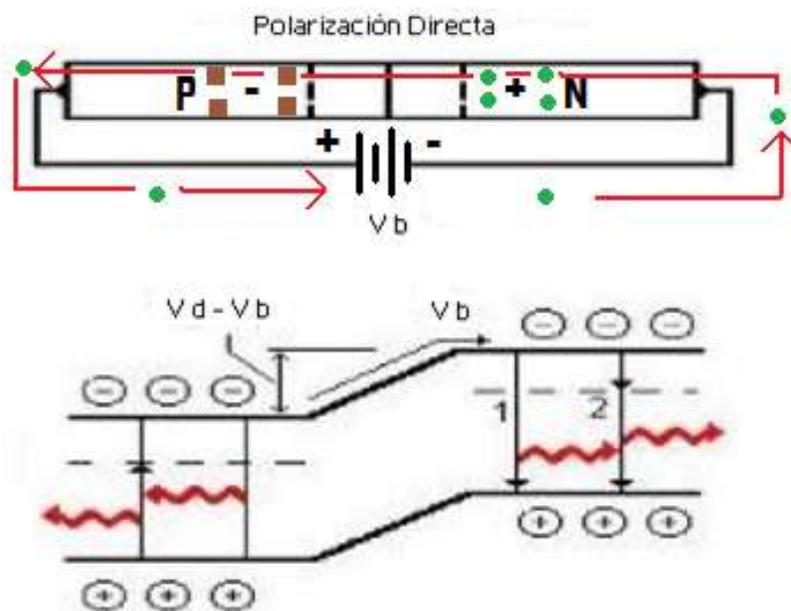


Figura IV.7 Diodo con polarización Directa.

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LEDs.

Algunas características de los LEDs son:

- ↪ El ancho de banda depende del material de fabricación: Germanio, Silicio, Azufre).
- ↪ La amplitud depende de la densidad de la corriente.
- ↪ Su funcionamiento está ligado a la temperatura.
- ↪ Son componentes de relativa lentitud (<1 Gb/s).
- ↪ Son baratos.
- ↪ Transmiten luz en un cono relativamente amplio.
- ↪ Son fuentes convenientes para comunicaciones por fibra óptica multimodo.



3.4. DIODOS LÁSER (LD).

Los LD son fuentes monocromáticas coherentes, por lo que se acopla más potencia óptica a la fibra; tiene construida internamente una cavidad resonante tal, que cuando se excede la corriente de umbral se tiene una emisión estimulada, con gran amplificación de luz.

El LED respecto al LD tiene mayor estabilidad térmica, sin embargo su emisión óptica es incoherente. La potencia de salida del LD con respecto a la del LED es mayor, su haz es coherente, su potencia óptica de salida depende de la temperatura. El LD requiere de un circuito de excitación con compensación de temperatura y protección contra transitorios.

3.4.1. CONCEPTO DE LASER.

En 1958 apareció un método para la producción de radiaciones electromagnéticas en las longitudes de onda del espectro visible, utilizando los estados energéticos de los átomos para producir, mediante cambios simultáneos de sus niveles, radiaciones electromagnéticas controladas.

El aparato utilizado se llamó **LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)**; el láser se caracteriza por ser un generador de luz monocromática (ondas de la misma frecuencia y en fase), constituyendo su salida un haz de luz **coherente**. Además, las trayectorias de los rayos emergentes del láser resultan paralelas, lo que permite concentrar una alta cantidad de energía en superficies reducidas, como es el caso de las fibras de vidrio.

Las fuentes luminosas habituales (tungsteno, lámparas fluorescentes, entre otros.) producen un espectro compuesto por una banda ancha de señales con distintas frecuencias y fases, así como diferentes amplitudes y polarizaciones (**luz no coherente**).

3.4.2. FUNCIONAMIENTO DEL DIODO LÁSER.

El proceso de generación de luz en un diodo láser es similar al del LED, pero con un volumen de generación menor y una alta concentración de portadores inyectados. Se consigue así una elevada ganancia óptica y un espectro de emisión muy estrecho que da lugar a luz coherente.

La luz de este tipo de láser puede acoplarse fácilmente a una fibra multimodo juntando simplemente a tope un extremo de la raya del láser contra el extremo del núcleo de la fibra, que tiene un diámetro mucho mayor. También puede acoplarse a una fibra monomodo.

3.4.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIODOS LÁSER.

Algunas de las ventajas más notables de estos componentes son:



- ↪ Debido a su patrón de radiación de luz, el cual es más directo que el patrón que presentan los LED's, es más sencillo acoplar la luz dentro de la fibra óptica. Esto reduce las pérdidas por acoplamiento y permite utilizar fibras de diámetro menor.
- ↪ La potencia radiada que entrega el láser es típicamente de 5 mW, mientras que el LED entrega una potencia de 0.5 mW en promedio. Esto hace que el láser sea preferido en sistemas de comunicación de larga distancia.
- ↪ El láser permite una mayor tasa de transmisión de bits.
- ↪ El láser genera luz monocromática, lo que reduce la dispersión por longitud de onda en la fibra óptica.

Las desventajas más notables en el láser son:

- ↪ El láser es 10 veces más caro que el LED.
- ↪ Por su cualidad de operar a alta potencia, su duración de vida es mucha más corta que la del LED.
- ↪ La operación del láser es más dependiente de la temperatura que la del LED.

3.5. MODULACIÓN ÓPTICA.

En una red óptica digital, los datos son representados por 1s y 0s. En redes eléctricas una corriente o voltaje eléctrico alto es representado por un "1", mientras que una corriente o voltaje eléctrico bajo, corresponde a un "0". Para crear estos pulsos desde una fuente constante de electricidad, un conmutador eléctrico muy rápido puede ser usado, otro camino que puede ser utilizado con el mismo fin de crear pulsos eléctricos puede ser encendiendo y apagando el apagador de la pared, repetidamente muy rápido.

Por otro lado, en el dominio óptico, se tiene un láser como fuente de señal. En una operación regular, este láser este entregando luz todo el tiempo. ¿Qué se necesita?, lo que se requiere es algún tipo de capacidad de conmutación en orden para alterar este flujo constante dentro de un flujo de niveles de potencia altos y bajos, para representar la información en forma digital, este es el rol de la *modulación*, y por eso se dice que la luz necesita ser *modulada*.

3.5.1. MODULACIÓN DEL LÁSER.

El sistema de modulación varía las características de fase de un rayo láser incidente y modifica, por tanto, el comportamiento del láser basado en ese cambio. El rayo láser se hace pasar a través de una unidad "moduladora", y se controlan algunos parámetros del haz, como su fase, frecuencia, polarización, amplitud, intensidad o cualquier otro que influya en la variación de la información. Esto es, esencialmente, la modulación.

En el caso de modulación de amplitud externa a la cavidad láser, la luz polarizada verticalmente que incide desde el láser pasa secuencialmente a través de una serie de



láminas de un cuarto de onda. Cuando no se aplica ningún voltaje a esta lámina o cristal, la luz incidente es convertida a una polarización circular; en este caso, la cantidad de luz que pasa se reduce a un 50%, de su valor máximo. Cuando a continuación se aplica un voltaje de modulación a la lámina, se produce un cambio en la polarización, por ejemplo, a un valor horizontal, y si los elementos de salida son tales que esa polarización horizontal es mejor para la transmisión, se puede suponer rápidamente que la intensidad de luz aumentará a la salida hacia un valor máximo. Si el voltaje aplicado es tal que provoca un desplazamiento en la polarización todavía mayor hacia una dirección que no es aceptable por los elementos de salida, la luz disminuye con respecto al valor nominal de polarización circular y es menor a la salida.

3.6. FACTORES DE RUIDO TÍPICOS DE LAS FUENTES DE LUZ.

A continuación se describen los tipos de ruido típicos que se producen en las fuentes de luz y en el acoplamiento de las mismas al medio utilizado para su propagación, la fibra óptica.

Como ya se vio anteriormente el factor más deseable en un transmisor óptico es la estabilidad de la potencia lumínica de la fuente de luz.

La estabilidad de la potencia lumínica de la fuente de luz viene determinada por los condicionantes eléctricos ya vistos y por los condicionantes ópticos que originan los siguientes tipos de ruido en las fuentes de luz.

3.6.1. RUIDO DE PARTICIÓN DE MODOS.

Las fuentes de luz teóricas o ideales generan en teoría un pulso lumínico ideal con un espectro que presentaría una línea espectral pura.

Las fuentes de luz reales generan un haz lumínico real con un espectro que presenta varias líneas espectrales y que se corresponden con la anchura espectral del haz lumínico emitido.

Por tanto la anchura espectral del haz lumínico representa la fluctuación de la longitud de onda del haz lumínico generado por la fuente de luz, por lo que no se mantiene constante la frecuencia de emisión del haz lumínico que genera la fuente de luz.

La fluctuación de la longitud de onda del haz lumínico representa que la fuente de luz opera simultáneamente en un intervalo de longitudes de onda centradas en la longitud de onda del modo fundamental.

El circuito de control de la fuente de luz garantiza la estabilidad de la potencia lumínica de salida cumpliéndose sin embargo que la aportación de cada una de las líneas espectrales a la potencia lumínica total es muy inestable. Por tanto la aportación individual de cada una de las longitudes de onda, que componen la anchura espectral de la fuente de luz, a la potencia lumínica total varía en función del tiempo.



Esta variación en función del tiempo provoca el que cada una de las longitudes de onda inicie su propagación a través del medio en instantes diferentes propagándose a velocidades distintas, lo que origina un incremento en el nivel de ruido presente en la entrada del receptor y que es el que se denomina **ruido de partición de modos**.

Este ruido está presente tanto en fibras ópticas monomodo como multimodo y se puede minimizar mediante la utilización de fuentes de luz con diodos láser que presenten una anchura espectral pequeña del orden de 4 nm y que trabajen en una longitud de onda de 1300 nm, por ser esta ventana de transmisión la que presenta el valor mínimo de dispersión del material.

3.6.2. RUIDO MODAL.

El ruido modal tan sólo aparece en las fibras ópticas multimodo y está motivado por la presencia de discontinuidades en la fibra óptica que provocan fenómenos de interferencias entre modos consistentes en la repetitiva superposición de los modos guiados a través de la fibra óptica, lo que origina el que la potencia lumínica inyectada no se distribuya uniformemente a lo largo de la sección transversal de la fibra óptica.

La falta de uniformidad en la distribución de la potencia lumínica a través de la sección transversal de la fibra óptica genera la posibilidad de que los conectores ópticos presenten valores de atenuación variables en función del tiempo al modificarse la interconexión óptica entre las caras enfrentadas de los conectores ópticos.

3.6.3. RUIDO HOPPING

El ruido hopping es un caso muy particular del ruido de partición de modos y está motivado por las fluctuaciones que se producen en la longitud de onda de emisión con respecto a la longitud de onda del modo fundamental durante el proceso de modulación de la señal. Esta falla de estabilidad de la fuente de luz junto con la falta de linealidad de los diodos led y láser origina el fenómeno que recibe el nombre de “hopping”.

El ruido hopping es el incremento en el nivel de ruido presente en el receptor debido al efecto hopping y constituye un fenómeno que, cuando se logre evitar, permitirá utilizar la longitud de onda de emisión como frecuencia de la portadora del equipo y dará lugar a los sistemas ópticos coherentes.

4. RECEPTORES ÓPTICOS.

Constituyen uno de los elementos fundamentales en las redes de comunicaciones ópticas; su componente básico es el conversor opto-eléctrico que realiza la conversión del haz lumínico propagado a través de la fibra óptica o señal óptica en una señal eléctrica de datos análoga a la presente en la entrada del transmisor óptico.

El conversor opto-eléctrico realiza el proceso de la fotodetección que consiste en la conversión de fotones en electrones. Este proceso se realiza mediante el conversor opto-



eléctrico y una serie de circuitos adicionales encargados de mantener el nivel de ruido y el ancho de banda necesario para no distorsionar la información presente en la señal.

El propósito del receptor en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas, es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el **Fotodetector**. En los sistemas de transmisión analógica el receptor debe amplificar la salida del fotodetector y después demodularla para obtener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor debe producir una secuencia de pulsos eléctricos (unos y ceros) que contienen la información del mensaje transmitido.

4.1. EQUIPOS DE DETECCIÓN.

El detector convierte la señal óptica que procede de la fibra en señal eléctrica como primera parte del proceso de recepción; a continuación, la señal se regenera, bien para llevarla a un equipo terminal o para ser incorporada a la siguiente etapa de un repetido óptico. Los detectores deben tener:

- ↪ Alta sensibilidad (potencia mínima necesaria en la entrada del detector para obtener una tasa de errores menor de una prefijada).
- ↪ Bajo consumo y dimensiones físicas compatibles con la fibra óptica.
- ↪ Una baja tasa de errores que permita la recuperación de la señal original.
- ↪ Bajo ruido.
- ↪ Características estables respecto al medio ambiente.

Existen básicamente dos tipos de fotodetectores de semiconductor, que se emplean en los receptores ópticos para sistemas de telecomunicaciones. El primero es comúnmente referido como **FOTODETECTOR PIN (Positive Intrinsic Negative)** y el segundo es referido como **FOTODETECTOR DE AVALANCHA APD (Avalanche Photodiode)**.

En aquellas aplicaciones, donde se requiere una alta sensibilidad, se recomienda tener como receptores fotodetectores de avalancha; sin embargo los fotodetectores PIN, son los más comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas.

En un sistema de transmisión digital por fibras ópticas, el transmisor óptico convierte una secuencia de pulsos eléctricos en una secuencia de pulsos ópticos, los cuales se transmiten a través de la fibra óptica. La señal sufre atenuación y distorsión antes de que la convierta en señal eléctrica el receptor óptico. La señal de salida del receptor óptico es una versión distorsionada del mensaje transmitido, por lo que debe procesarse por un regenerador con el fin de tener una réplica del mensaje y pueda transmitirse si se quiere.

4.2. FOTODETECTOR PIN (Positive Intrinsic Negative).

Los Fotodetectores PIN o Fotodiodos PIN, son los detectores más comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas. Este diodo está conformado por una capa

intrínseca, casi pura, de material semiconductor, introducida entre la unión de dos capas de materiales semiconductores tipo n y p. Se aplica una tensión de polarización inversa.

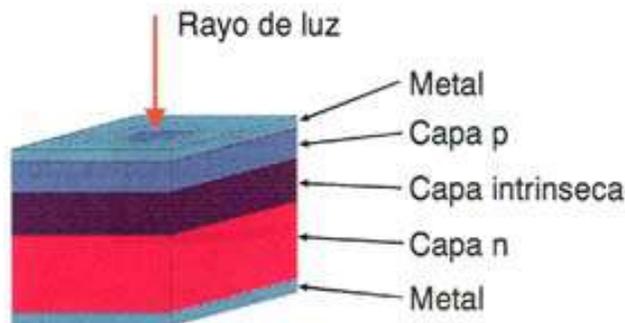


Figura IV.8. Corte esquemático de un Fotodiodo PIN.

La luz entra al diodo por una ventana muy pequeña y es absorbida por el material intrínseco, el cual agrega la energía suficiente para lograr que los electrones se muevan de la banda de valencia a la banda de conducción y se generen portadores de carga eléctrica que permiten que una corriente fluya a través del diodo. Los elementos más utilizados en la fabricación de este tipo de detectores son el Germanio y últimamente se utiliza el GaAs, GaInAs, InP, con resultados muy buenos.

Los diodos PIN requieren bajas tensiones para su funcionamiento, pero deben utilizar buenos amplificadores. Presentan tiempos de vida relativamente altos. Que podrían reducir únicamente por factores externos y son los más indicados para el uso en la segunda y tercera ventana de transmisión (1300 y 1550 nm).

4.3. FOTODETECTOR DE AVALANCHA APD (Avalanche Photodiode).

Los Fotodetectores de Avalancha o Fotodiodos de Avalancha, son una estructura de materiales semiconductores, ordenados en forma **p-i-p-n**.

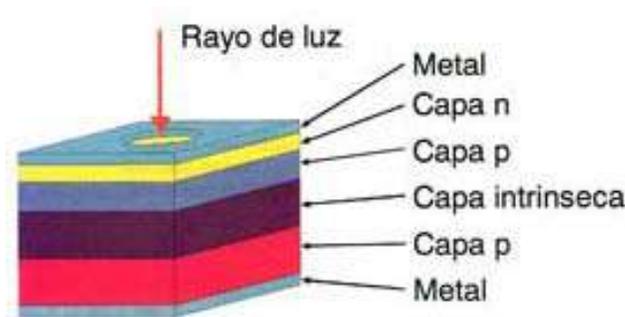


Figura IV.9 Corte esquemático de un Fotodiodo APD.

La luz entra al diodo y es absorbida por la capa n, haciendo que ciertos electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción.



Debido al gran campo eléctrico generado por la polarización inversa, los electrones adquieren velocidades muy altas y al chocar con otros electrones de otros átomos, hacen que éstos se ionicen. Los átomos ionizados ionizan a su vez otros átomos, desencadenando un efecto de avalancha de corriente fotoeléctrica.

Los fotodiodos APD son 10 veces más sensibles que los diodos PIN y requieren de menos amplificación adicional. Su desventaja radica en que los tiempos de transición son muy largos y su vida útil es muy corta.

4.4. CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS ENTRE FOTODETECTORES PIN y APD.

CARACTERÍSTICA COMPARATIVA	FOTODETECTOR	
	PIN	APD
COSTO		Son más complejos y por ende más caros.
VIDA	Tiempos de vida útil superiores a APD.	
CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN		Poseen velocidades de respuesta mayores; por lo que permiten mayores tasas de información.
CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN	Requieren Circuitos de polarización más simples, pues trabajan a menores tensiones.	

Tabla IV.1 Característica Comparativa entre PIN y APD.

5. EQUIPO REPETIDOR.

En un enlace por fibras ópticas habrá distancias a las cuales es necesario es necesario elevar el nivel de la señal óptica. La distancia estará determinada por los coeficientes de atenuación y dispersión, por el número de empalmes y conectores; y por el espacio entre puntos a comunicar.

Los **Regeneradores Ópticos** y los **Amplificadores Ópticos**, son los principales dispositivos que permiten llevar a cabo este proceso de elevación o aumento del nivel de señal óptica.

5.1. REGENERADORES ÓPTICOS.

El regenerador óptico realiza una doble y simultánea conversión opto-eléctrica y electro-óptica de la señal presente en su entrada, por lo que en su salida es siempre óptica. El equipo está conformado por un receptor óptico seguido de un amplificador y de un transmisor óptico.

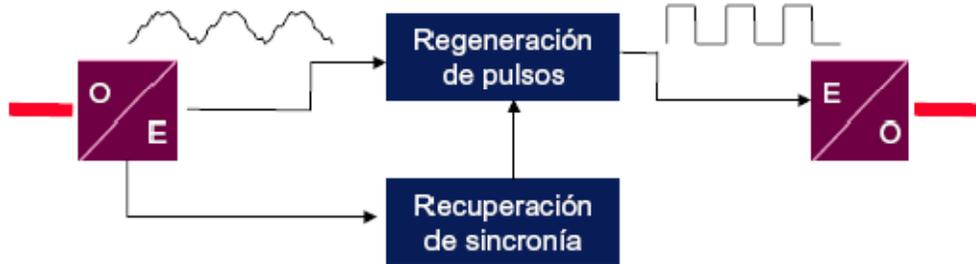


Figura IV.10 Proceso de Regeneración Óptica.

Uno de los parámetros determinantes en los enlaces ópticos lo constituye la sección de regeneración del enlace y representa el alcance máximo o máxima distancia que es posible cubrir con un transmisor y un receptor óptico sin regenerar la señal. La sección de regeneración del enlace depende del nivel de la potencia óptica presente en la salida del transmisor óptico y del margen dinámico del receptor óptico.

En el caso de que la distancia cubierta por el enlace fuese mayor que la sección de regeneración del mismo, sería necesaria la utilización de regeneradores o amplificadores intermedios, que se encargarían de realizar una doble conversión de la señal. En un primer paso se realiza la conversión opto-eléctrica de la señal, para seguidamente realizar, tras de un proceso de regeneración y amplificación, la segunda conversión electro-óptica de la señal.

En el caso de los regeneradores ópticos las señales presentes en sus entradas y en sus salidas son siempre ópticas y sin embargo estos equipos están caracterizados con parámetros ópticos.

La sección de regeneración depende de diversos factores como son:

- ↪ Características de la fibra óptica.
- ↪ Características de los transmisores y receptores.
- ↪ Características de las señales que se transmitirán.

5.2. AMPLIFICADORES ÓPTICOS.

La función de los amplificadores ópticos es aumentar los niveles de señales débiles. Para enlaces muy largos (cientos y miles de kilómetros) se necesitan amplificadores para proveer suficiente potencia y asegurar la entrega de una señal que pueda entender el receptor, ya que los amplificadores no pueden compensar o regenerar una señal. Además pueden emplearse en otros procesos como la conmutación, después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, dado que estos procesos introducen pérdidas en el sistema.

Las características básicas de estos dispositivos son:

- ↪ Funcionamiento independiente del tipo de modulación de la señal.

- ↪ Tiene un amplio ancho de banda, por lo que amplifica varias longitudes de onda simultáneamente.
- ↪ Mayor simplicidad y por tanto menor probabilidad de fallos y menor costo que los regeneradores.
- ↪ Permiten emplear reflectómetros ópticos para el testeo y supervisión de las líneas de fibra óptica.

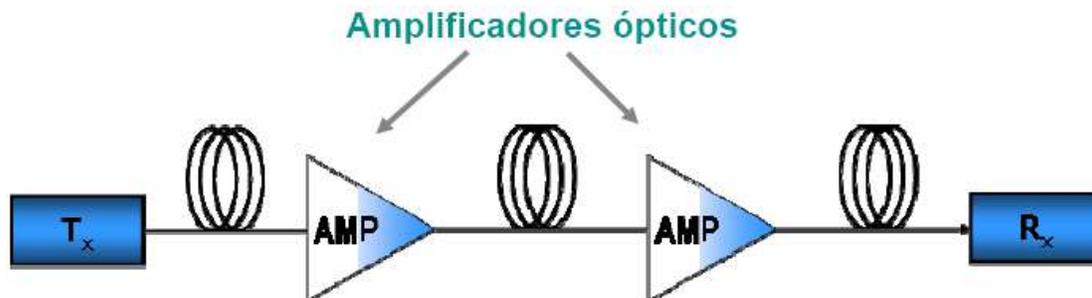


Figura IV.11 Amplificador Óptico.

El fundamento de un amplificador óptico es el proceso de emisión estimulada al igual que en un láser. Su estructura es similar a la de un láser salvo que no posee una realimentación para evitar que el dispositivo oscile, de forma que puede elevar el nivel de potencia de la señal, pero no generar una señal óptica coherente.

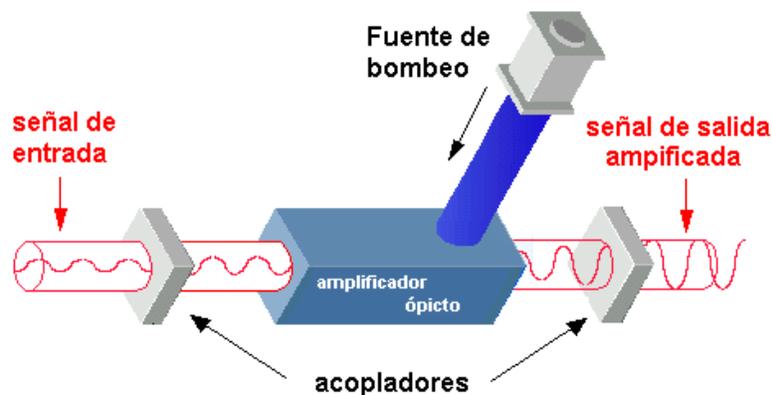


Figura IV.12 Funcionamiento de un Amplificador Óptico.

En la figura IV.12 se muestra un esquema del funcionamiento de un amplificador básico. A continuación, se explica brevemente este proceso:

Los amplificadores ópticos trabajan en base a la amplificación de la luz mediante emisión estimulada, al ser bombeados.

Una fuente de bombeo inyecta una energía en la zona activa del amplificador. Esta energía es absorbida por los electrones que incrementan sus niveles de energía produciéndose la inversión de población. Al ser alcanzados estos electrones por los fotones de la señal óptica de entrada caen a unos niveles energéticos más bajos dando lugar a un nuevo fotón, esto es el proceso de emisión estimulada, produciéndose así la amplificación de la señal.

Los amplificadores ópticos no compensan la dispersión ni quitan el ruido de la señal, ya que el ruido y la dispersión son acumulativos. Cuando la dispersión y el ruido llegan a los límites permitidos, entonces se debe regenerar la señal.

5.2.1. TIPOS DE AMPLIFICADORES ÓPTICOS.

Al realizar la clasificación de los amplificadores ópticos, se debe tomar en cuenta los argumentos siguientes:

- ↪ Los amplificadores pueden ser colocados en diferentes puntos del sistema, según el lugar donde se coloque, adquiere un nombre.
- ↪ La amplificación se produce dentro de un rango de frecuencias que dependen del material, así como su estructura.

5.2.2. CLASIFICACIÓN DE AMPLIFICADORES POR SU APLICACIÓN.

Los tres tipos de amplificadores según su aplicación, se muestran en la figura siguiente:

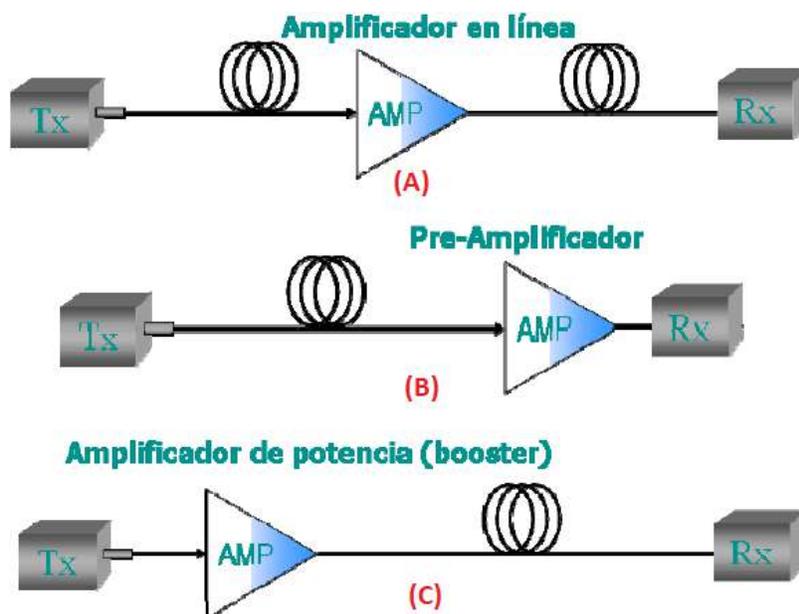


Figura IV.13 (A) Amplificador de Línea; (B) Preamplificador; (C) Amplificador de Potencia.

- ↪ **Amplificador de Línea:** Como amplificador de línea en un enlace con fibra monomodo, como el que se muestra en la figura (A), se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal y compensar así las pérdidas sufridas por la propagación de la señal. Frecuentemente se instalan varios amplificadores en cascada a lo largo de la línea.



- ↪ **Preamplificador:** Como preamplificador en un receptor, como se muestra en la figura (B), su misión es amplificar la señal antes de ser detectada por el fotodetector para mejorar así la relación señal-ruido.
- ↪ **Amplificador de Potencia:** Como amplificador de potencia situándose a continuación de la fuente láser, se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal e incrementar la distancia de transmisión.

5.2.3. CLASIFICACIÓN DE AMPLIFICADORES POR SU ESTRUCTURA.

Los dos principales tipos de amplificadores ópticos, por su estructura son:

- ↪ **SOA: Amplificador Óptico de Semiconductor (Semiconductor Optical Amplifier).**
- ↪ **DFA: Amplificador de Fibra Dopada (Doped Fiber Amplifier).**

En los **SOA** la zona activa está constituida con aleaciones de elementos semiconductores como el Fósforo (P), el Indio (In), el Galio (Ga) y el Arsénico (As).

En los **DFA** es un núcleo de fibra óptica dopada con iones de tierras raras como el Erblio (Er), el Praseodimio (Pr), el Iterbio (Yb) o el Neodimio (Nd).

5.2.3.1. AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE SEMICONDUCTOR.

La estructura de un SOA *Semiconductor Optical Amplifiers*, es muy similar a la de un láser semiconductor pero sin la realimentación que hace que éste oscile. Según como se evite esta oscilación se tienen tres subtipos de amplificadores.

- I. Amplificadores de enganche por inyección.** Son los menos empleados y consisten en láseres de semiconductor polarizados por encima del umbral que se emplea para amplificar una señal óptica de entrada.
- II. Amplificador Fabry-Perot (FP).** Su estructura es básicamente como la de un láser de Fabry-Perot pero polarizado por debajo del umbral impidiendo así su oscilación. Su principal inconveniente es su respuesta en frecuencia, que al igual que un filtro de Fabry-Perot consiste en una serie de bandas de paso espaciadas periódicamente.
- III. Amplificador de onda viajera (TWSLA, *Travelling Wave SLA*).** En él se eliminan las reflectividades de los espejos de salida de la cavidad, evitando así la realimentación de la señal, por lo que la amplificación se produce por el paso de la señal una sola vez por el dispositivo. Este amplificador se suele alargar con respecto a los diodos láseres convencionales para aumentar la ganancia.

El amplificador de onda viajera es el tipo de SOA más empleado en la actualidad debido a sus prestaciones en saturación, ancho de banda y ruido. Su estructura consiste en una unión p-n polarizada en directa con los extremos de la zona activa recubiertos con un material antireflectante, como se muestra en la figura IV.14(a).

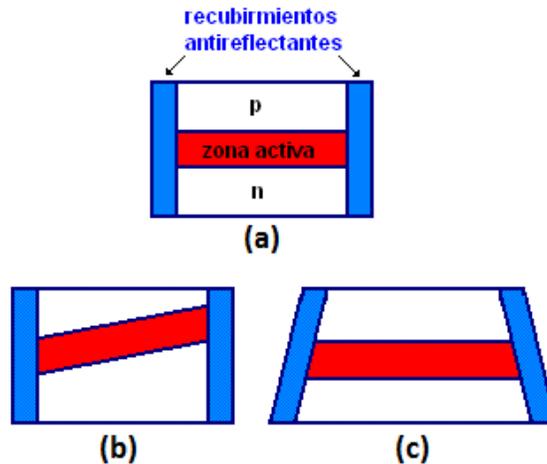


Figura IV.14 Estructura de un SOA de onda viajera.

La figura IV.14(b) consiste en situar el plano activo en una posición no ortogonal a las caras de entrada y salida. El objeto de esto es que la señal que incide sobre la superficie de salida no lo haga formando un ángulo de 90° con ésta, de forma que la poca señal reflejada por la cara de salida no se realimente. En la figura IV.14(c), tiene la misma misión que el anterior, pero las caras extremas no están paralelas entre sí.

5.2.3.2. AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE FIBRA DOPADA.

Estos amplificadores necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Típicamente, las longitudes de onda de bombeo son 980 nm o 1480 nm y para obtener los mejores resultados en cuanto a ruido se refiere, debe realizarse en la misma dirección que la señal.

Un amplificador óptico es capaz de amplificar un conjunto de longitudes de onda (WDM, Wave Division Multiplexing).

Los amplificadores más comunes son los **EDFA** (Erbium Doped Fiber Amplifier) Amplificador de Fibra Dopada con Erblio.

El **EDFA** es el amplificador de fibra dopada más empleado en la actualidad, ya que es posible amplificar señales en la tercera ventana (1550 nm). Además de que fue una tecnología clave para hacer posible el transporte de gran cantidad de información de que es capaz la **WDM** de transmitir a largas distancias, Al mismo tiempo, ha sido un gran hito en el desarrollo de otros elementos y tecnologías de las redes.

El erbio es un raro elemento que, cuando se excita, emite luz alrededor de 1540 nm (la longitud de onda de menor pérdida para las fibras ópticas usadas en DWDM).

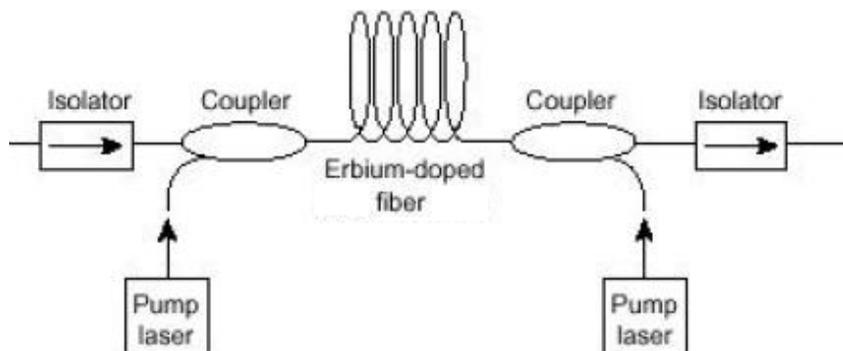


Figura IV.15 Diseño de un EDFA.

En la figura IV.15 se muestra un diagrama simplificado de un **EDFA**. Una señal débil entra en una fibra dopada con erbio, en que la luz a 980 nm o 1480 nm es inyectada mediante una bomba láser. De esta manera la luz inyectada estimula los átomos de erbio que liberan su energía almacenada como luz adicional de 1550 nm. Como este proceso continua por la fibra, la señal se refuerza.

Los parámetros clave de los amplificadores ópticos son la ganancia, la igualdad de ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente los **EDFA** son capaces de ganancias de hasta 40 dB y potencias de salida de +25 dB. Sin embargo los parámetros clave cuando se selecciona un **EDFA** son el bajo ruido y la igualdad de la ganancia. La ganancia es plana porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. Mientras la ganancia de señal suministrada por la tecnología **EDFA** depende inherentemente de la longitud de onda, se puede corregir con filtros de ganancia plana.

Algunas características típicas de los EDFA comerciales son:

- ↪ Frecuencia de operación: De 1530 a 1605 nm.
- ↪ Para el funcionamiento por debajo de los 1480 nm son necesarios otros dopantes.
- ↪ Baja figura de ruido (típicamente entre 3 a 6 dB).
- ↪ Ganancia entre (15 a 40 dB).
- ↪ Máxima potencia de salida: 14 - 25 dB.
- ↪ Ganancia interna: 25 - 50 dB.
- ↪ Variación de la ganancia: ± 0.5 dB
- ↪ Número de láseres de bombeo: 1 – 6.
- ↪ Longitud de onda de bombeo: 980 nm o 1480 nm.



6. DISPOSITIVOS PASIVOS.

Los dispositivos pasivos realizan unas funciones imprescindibles tanto en la configuración como en el funcionamiento de los enlaces realizados con fibras ópticas.

Entre este tipo de dispositivos se encuentran:

- ↪ Acopladores.
- ↪ Conmutadores.
- ↪ Multiplexores.
- ↪ Demultiplexores.

6.1. ACOPLADORES ÓPTICOS.

Se definen los acopladores o distribuidores de fibra óptica como aquellos dispositivos pasivos que permite realizar la conmutación o distribución del haz lumínico proveniente de una o más fuentes de luz.

Cuentan con un número de puertas de entrada y de salida variables a las que se conexionan las fibras ópticas. Son por tanto dispositivos punto a multipunto frente a los dispositivos punto a punto, vistos anteriormente.

Constituyen los elementos fundamentales en las redes ópticas y su elección se hace en base a los parámetros de diseño requeridos por las redes de distribución ópticas implementadas con fibra óptica tales como:

- ↪ Número de puertas de entrada/salida.
- ↪ Longitud de onda de trabajo.
- ↪ Sensibilidad.
- ↪ Tipo de fibra óptica monomodo o multimodo.
- ↪ Nivel de potencia.
- ↪ Pérdidas admisibles.

6.2. TIPOS DE ACOPLADORES.

Los acopladores ópticos pueden ser construidos con un número pequeño o grande de entradas/salidas. El más simple puede tener dos entradas y una salida solamente; hoy en día se pueden construir acoplador hasta de 144x144 entradas/salidas sin que esto signifique gran complejidad de fabricación. Los acopladores ópticos son parte fundamental de las redes ópticas.

6.2.1. ACOPLADOR EN T.

El acoplador en T es un dispositivo óptico bidireccional pasivo que se inserta en la línea y que se caracteriza por unificar los haces lumínicos o bifurcar el haz lumínico.

Existen dos tipos de acopladores ópticos en T en función del sentido de la bifurcación y de que se pueda realizar la extracción del haz lumínico o la unificación del mismo.

Cuando se realiza la extracción del haz lumínico los acopladores reciben el nombre de **divisores ópticos**, y cuando se realiza la unificación del haz lumínico reciben el nombre de **combinadores ópticos**. Es posible la utilización conjunta de ambos tipos de acopladores en T, con lo que se logran sucesivas reparticiones de la potencia óptica presente en su entrada(s) o en su salida(s) que permite configurar la arquitectura de la red. Es necesario tener presente en todo momento que las pérdidas producidas en estos acopladores aumentan linealmente con el número de derivaciones realizadas.

6.2.1.1. DIVISOR ÓPTICO.

Los divisores ópticos o splitters son unos tipos específicos de acopladores en T. Es un elemento óptico pasivo insertable en la línea con una entrada y dos puertos de salida y bifurca el haz lumínico presente en su entrada.

En los divisores ópticos la potencia óptica se reparte entre los dos puertos de salida al 50%. La figura IV.16 muestra de forma simplificada uno de estos divisores ópticos.



Figura IV.16 Divisor óptico.

En este tipo de acopladores en T la potencia óptica se reparte de forma equipotencial entre ambos puertos de salida.

6.2.1.2. COMBINADOR ÓPTICO.

Se trata de un tipo específico de acoplador en T. Es un elemento óptico pasivo insertable en la línea con dos entradas y un puerto de salida que unifica los haces lumínicos presentes en sus entradas.

El funcionamiento del combinador óptico es totalmente análogo pero en sentido inverso al descrito anteriormente para el divisor óptico.



Figura IV.17 Combinador Óptico.

6.2.2. ACOPLADOR EN ESTRELLA.

El acoplador en estrella, es un dispositivo óptico pasivo insertable en línea con varios puertos de salida y uno o varios puertos de entrada. Se caracteriza porque el haz lumínico presente en su entrada se distribuye a todos los puertos de salida.

El valor característico de atenuación que introducen está en función del número de puertos de salida. Este tipo de acoplador óptico es siempre equipotencial y presenta idéntica potencia óptica en todos los puertos de salida.

6.2.2.1. ACOPLADOR EN ESTRELLA TRANSMISIVO.

Este tipo de acoplador óptico tiene un puerto de entrada y la potencia óptica en ella inyectada se distribuye a todos los puertos de salida.

La figura IV.18 representa un típico diagrama de utilización de un acoplador en estrella transmisivo.

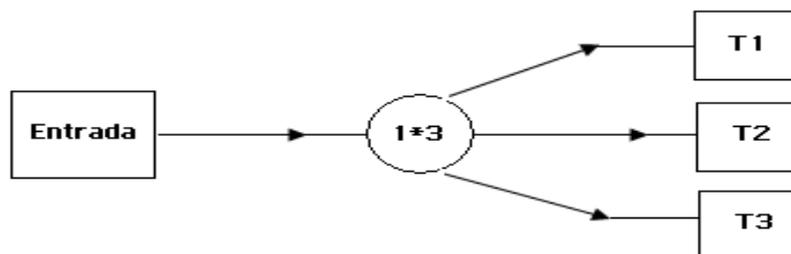


Figura IV.18 Acoplador en estrella transmisivo.

6.3. CONMUTADORES DE FIBRA ÓPTICA.

Los conmutadores ópticos son dispositivos ópticos pasivos insertables en la línea con varios puertos de salida y uno o varios puertos de entrada.

Se caracterizan porque permiten conmutar el haz lumínico presente en un puerto de entrada entre dos o más puertos de salida mediante un mando que puede ser electromecánico o electro-óptico.

Consiste en lograr la modificación que se desea en la trayectoria del haz lumínico entre el puerto de entrada y el puerto de salida. Se emplean para seleccionar otra señal en caso de que alguna falla.



6.4. TIPOS DE CONMUTADORES.

El equipo de conmutación es el elemento que realiza el proceso de encaminamiento de las señales. Estas señales son adaptadas mediante el interfaz de entrada (cambio de formato de las señales, cambio de longitud de onda) para que el equipo de conmutación pueda realizar sus operaciones. De forma análoga el interfaz de salida adecua las señales para su transmisión. El bloque de control de conmutación es el encargado de configurar el equipo de conmutación.

La conmutación se hace mediante una señal eléctrica de control. Se especifican:

- ↪ Número de entradas/salidas.
- ↪ Tipos de fibras y longitudes de onda.
- ↪ Tiempo de conmutación.
- ↪ Tipo de señal de control.
- ↪ Pérdida por inserción y reflexiones.

El criterio para su clasificación es en función del mando del conmutador óptico que puede ser electro-óptico o electromecánico.

6.4.1. CONMUTADORES CON MANDO ELECTRO-ÓPTICO.

Estos conmutadores se basan en el empleo de materiales cuyo índice de refracción varía en función del potencial eléctrico al que se les somete. Al variar el índice de refracción del medio el haz lumínico modifica su trayectoria inicial, con lo que se produce la conmutación del haz lumínico.

Existen dos técnicas constructivas para la realización de este tipo de conmutadores son las siguientes:

La primera técnica consiste en la utilización de un substrato de dióxido de silicio depositado sobre una oblea de silicio.

Los conmutadores construidos con esta técnica se caracterizan por alcanzar un valor en su velocidad de conmutación característica del orden de 1 msg, y unas muy bajas pérdidas de inserción. Valores característicos de las mismas son los comprendidos entre 1 dB y 2 dB.

La segunda técnica consiste en la utilización de un substrato de neobato de litio NbO_3Li sobre el que se ha difundido una estructura con una fina capa de titanio.

Los conmutadores construidos con esta técnica se caracterizan por alcanzar un valor en su velocidad de conmutación característica del orden de 1 nseg, si bien presentan unos mayores valores en sus pérdidas de inserción. Valores característicos de las mismas son los comprendidos entre 4 dB y 6 dB.



6.4.2. CONMUTADORES CON MANDO ELECTROMECAÁNICO.

Estos conmutadores se basan en el empleo de elementos mecánicos móviles para activar el conmutador. El elemento mecánico impulsor puede ser un motor paso a paso o un relé solenoidal.

Actúan de forma independiente de la longitud de onda de trabajo y de la potencia óptica del haz lumínico. Presentan un comportamiento pasivo respecto de la fuente de luz utilizada lo que se traduce en ventajas respecto a los de mando electro-óptico.

Dentro de estos conmutadores existen dos versiones: de Fibra Móvil y de Óptica Móvil.

6.4.2.1. CONMUTADORES ELECTROMECAÁNICOS DE FIBRA MÓVIL.

Este tipo de conmutadores se basan en el alineamiento o enfrentamiento directo entre los núcleos de las fibras ópticas. Su construcción es posible para fibras ópticas con diámetros de núcleo desde 50 micras hasta 1000 micras. Los valores característicos de atenuación que introducen son de 0.5 dB, con una vida útil estimada en 10 Millones de ciclos, un tiempo de conmutación de 10 msg y una temperatura de trabajo desde -10 °C hasta +55 °C.

6.4.2.2. CONMUTADORES ELECTROMECAÁNICOS DE ÓPTICA MÓVIL.

Este tipo de conmutadores se basan en la modificación de la trayectoria del haz lumínico por lo que no existe enfrentamiento directo entre los núcleos de las fibras ópticas.

La modificación de la trayectoria del haz lumínico se logra mediante elementos móviles ópticos tales como lentes, prismas o espejos. La selección del puerto de salida se logra en base al posicionado que presente el elemento móvil óptico.

No existe enfrentamiento directo entre los núcleos de las fibras ópticas de entrada y de salida. Presentan grandes pérdidas características de atenuación por lo que es desaconsejable su utilización frente a los de fibra móvil.

6.5. MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES.

En este apartado se incluyen tanto los multiplexores por división en longitudes de onda, o WDM (Wave Division Multiplexing), como los demultiplexores por división en longitud de onda o WDDM (Wave Division Demultiplexing).

Ambos son dispositivos ópticos pasivos insertables en la línea y selectivos a las longitudes de onda.

Los procesos que realizan son la multiplexación por división de longitud de onda y la demultiplexación por división de longitud de onda. La técnica WDM, será analizada más adelante.

6.5.1. MULTIPLEXORES.

Un multiplexor es esencialmente un switch muy simple que realiza las funciones de multiplexado y demultiplexado. La función de multiplexado comparte un único canal de salida entre múltiples canales de entrada.

La multiplexación por división en longitudes de onda es un proceso que consiste en conformar de forma simultánea un haz lumínico con diferentes pulsos lumínicos, cada uno de ellos con su correspondiente longitud de onda específica. El haz lumínico conformado con las diversas longitudes de onda provenientes de diferentes fuentes de luz, se propaga utilizando para su propagación el mismo medio físico, una única fibra óptica.

6.5.2. DEMULTIPLEXORES.

La función de demultiplexado hace que una entrada sea distribuida entre múltiples salidas. La demultiplexación por división de longitud de onda es el proceso inverso a la multiplexación y consiste en segregar del haz lumínico los diversos pulsos lumínicos que le conforman, cada uno de ellos con su correspondiente longitud de onda.

Cada pulso lumínico segregado y, por tanto, cada longitud de onda específica se direccionan seguidamente a su receptor óptico correspondiente.

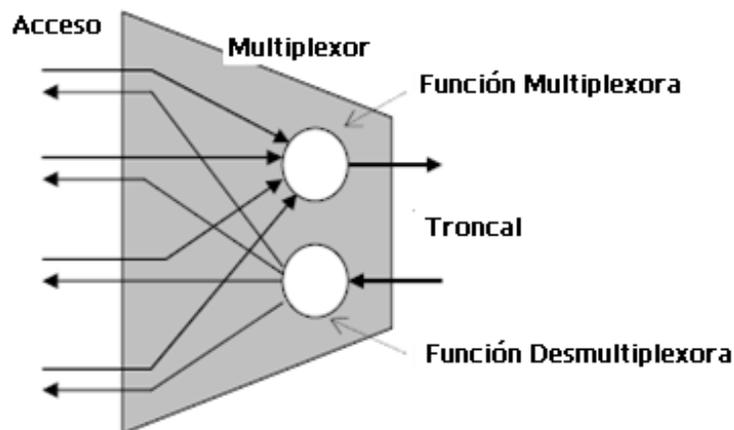


Figura IV.19 Función Multiplexora y Demultiplexora.

CAPITULO V

“TRANSPORTE DE INFORMACIÓN EN FIBRA ÓPTICA”



... Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.
ISAAC NEWTON.



1. TENDENCIAS Y REQUERIMIENTOS.

Para solucionar el problema del intercambio de información, el hombre ha inventado diferentes formas de hacerlo, desde los primeros sistemas rudimentarios hasta la comunicación a distancia por medio de dispositivos tecnológicos avanzados. Los avances logrados en el área de las telecomunicaciones han permitido que el hombre se desempeñe de una manera más eficiente.

El proceso de la comunicación en las organizaciones ha evolucionado en gran medida gracias a los avances tecnológicos en el campo de las telecomunicaciones y redes.

1.1. EXIGENCIAS PARA LA RED DE TRANSPORTE.

En la actualidad las formas de comunicación están cambiando y las necesidades son cada vez más específicas. Por ello se están empleando nuevas formas y técnicas que permitan satisfacer las necesidades de cada organización y de cada persona.

Las tecnologías suelen atravesar ciclos de promesa, exageración, desilusión, rechazo y renacimiento; es por eso que hoy en día se están tomando acciones concretas en el área de telecomunicaciones en respuesta a la oferta y demanda. Hoy en día la fibra óptica se presenta como el medio de transmisión ideal para la red de transporte requerida; desde el punto de vista así como su interfaz a Sistemas de Transmisión móviles.

1.1.1. CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN.

A partir de 1975, la tecnología de Fibra Óptica ha avanzado a un ritmo vertiginoso desde todos los puntos de vista, evolucionando a medida que los laboratorios perseveraban en su desempeño de conseguir sistemas capaces de transmitir más cantidad de información, a velocidades más elevadas, a mayores distancias y con costos más reducidos.

La fibra óptica se empezó a utilizar en los enlaces telefónicos, ampliando después su radio de acción a las redes de abonado, donde se espera su futuro más prometedor. Precisamente su gran ancho de banda, del orden de los 140 THz en la banda de 900 a 1600 nm, permitirá su empleo masivo en las redes de área local (LAN), redes metropolitanas (MAN) y redes de área amplia (WAN).

1.1.2. ALCANCE Y CONFIABILIDAD.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales, (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada 2 Kms, para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 Kms; sin necesidad de recurrir a repetidores. De igual forma el uso de los repetidores se reduce, con la implementación de los EDFAs (Amplificadores de Fibra Dopadas con Erblio). Y la transmisión de más de un canal, con la aplicación de la WDM (Multiplexación por división de longitud de onda).



2. TRANSMISIÓN DE VARIAS SEÑALES.

El rápido avance de la tecnología de las fibras ópticas, así como la introducción de las técnicas digitales, han hecho que se considere el concepto de las redes de comunicaciones, en la actualidad en varios países, los cables de fibra óptica se han sometido a prueba en todos los niveles de los sistemas de comunicación, obteniendo resultados positivos, por lo que hay una constante investigación de nuevas técnicas para la transmisión por fibras ópticas.

Es importante transmitir al mismo tiempo varias señales, a esto se le llama *multiplex* o *multicanalización*. Una forma de hacer esto, sería utilizando un sistema de transmisión para cada señal; sin embargo, esta solución no es conveniente económicamente, por lo que es preferible transmitir los diversos mensajes por el mismo canal de transmisión (en este caso, la misma fibra óptica).

2.1 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO.

Una de las técnicas que permite transmitir por un mismo canal de muchas señales digitales, es la Multicanalización por División de Tiempo (TDM Time Division Multiplexing).

La multicanalización se realiza con un multiplexor que transmite, en serie, sobre la línea de transmisión los 8 bits del canal 1, después los 8 bits del canal 2 y así sucesivamente. Después de que se transmitió el canal décimo sexto, se envía el bit de sincronización y el multiplexor transmite los 8 bits de una nueva muestra del canal 17, una vez que se concluye con el envío de la trama de los 32 canales, se reinicia la secuencia. Al extremo receptor, un demultiplexor realiza la operación inversa, es decir, que envía los 8 bits de cada canal hacia una línea diferente donde se decodificarán.

2.2 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA.

Debido a la lucha constante por desarrollar nuevas técnicas para el aprovechamiento más eficiente y económico de los medios de comunicación, los sistemas ópticos han desarrollado el Multiplexaje por División en Longitud de Onda WDM (Wavelength Division Multiplexing), con el cual es posible que la capacidad de transmisión sobre una fibra óptica sea incrementada para transmitir múltiples longitudes de onda sobre una fibra y para lograr capacidades de transmisión del orden de Terabits por segundo.

Las primeras redes WDM emplearon dos longitudes de onda: una en la ventana de los 1310 nm y otra en la ventana de los 1550 nm. Hoy en día los sistemas de WDM utilizan 16, 32, 128 o más longitudes de onda en la ventana de los 1550 nm y son comúnmente llamadas redes de Multiplexaje por División de Longitud de Onda Densa (DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing), porque empaqueta de manera densa o compacta la longitud de onda.

Con esta técnica de multicanalización, todos los canales se transmiten simultáneamente y utilizan cada uno de ellos todo el ancho de banda del medio de transmisión. Se les asigna una longitud de onda en particular, por medio de un modulador electroóptico, el cual convierte la señal eléctrica en energía luminosa, con una longitud de onda específica, que se distribuye en forma simultánea en toda la fibra óptica.

Para alimentar la energía luminosa de la fibra, se utilizan dispositivos que se les llaman distribuidores selectivos de longitudes de onda, estos tienen bastante aplicación en sistemas de distancias cortas y enlaces sin repetidores, un sistema completo con multiplexaje por longitud de onda se muestra en la figura V.1.

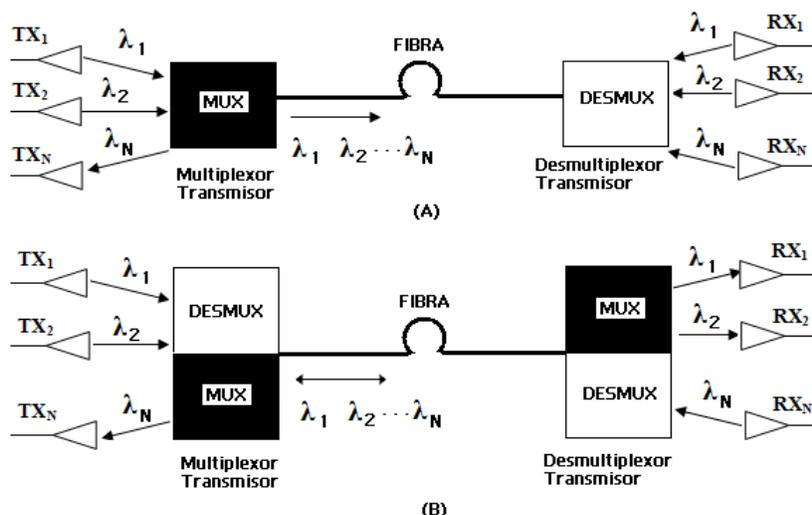


Figura V.1 Multiplexación por División de Longitud de Onda.
(A) Unidireccional. (B) Bidireccional.

Los multiplexores de este tipo pueden ser unidireccionales o bidireccionales, en los multiplexores unidireccionales (figura V.1 A), las señales se transmiten en una misma dirección con varios portadores ópticos con diferentes longitudes de onda, los multiplexores bidireccionales (figura V.1 B) transmiten la información en dos sentidos sobre la misma fibra, utilizando diferente longitud de onda en cada sentido. Cada uno de los dispositivos del sistema WDM combina señales con una determinada longitud de onda para transmitir las sobre la fibra, desde luego, también en el receptor se requieren dispositivos que separen estas señales. El empleo de los multiplexores/demultiplexores depende del tipo de sistema.

Los unidireccionales son sencillos, ya que sólo requieren óptica para el acoplamiento hacia las fibras de los haces luminosos que emiten las diferentes fuentes, y dispositivos de dispersión para separar las longitudes de onda.

Cuando se usan bidireccionales en los extremos del enlace se deben de tener multiplexores y demultiplexores, ya que en un sentido se deben de transmitir un número de longitudes de onda, así como también se debe ser capaz de recibir señales ópticas de diferentes longitudes de onda.



3. TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE.

3.1. INTERFAZ DE DATOS DISTRIBUIDOS POR FIBRA (FDDI).

Una red FDDI provee conexiones a alta velocidad para varios tipos de redes. FDDI fue designada para usarse con computadoras que requieren velocidades más grandes de los 10 Mbps disponibles en Ethernet o los 4 Mbps disponibles de las existentes arquitecturas de Token Ring. Una red FDDI puede soportar varias redes LAN de baja capacidad que requieran un *backbone* de alta velocidad. Esto es producto del comité ANSI X3T9.5 y fue liberado en 1986. FDDI puede utilizarse en MANs para conectar redes en la misma ciudad con conexiones de cable de fibra óptica de alta velocidad. FDDI está limitada a un anillo de longitud máxima de 100 Km, por lo que no está diseñada para ser utilizada como tecnología de WANs.

Una red FDDI consiste de dos cadenas similares de datos viajando en direcciones opuestas alrededor de dos anillos. Un anillo es llamado **anillo primario** y el otro es llamado el **anillo secundario**. Si hubiera un problema con el anillo primario, como una falla en el anillo o una rotura del cable, el anillo se reconfigura así mismo, para transferir los datos por el segundo anillo, el cual continua transmitiendo.

3.1.1. MÉTODO DE ACCESO.

El método de acceso usado en las redes FDDI es el Token Passing. Una computadora en una red FDDI puede transmitir tantos paquetes como pueda producir dentro de un tiempo determinado antes de liberar el token. Tan pronto como la computadora ha terminado de transmitir o después de que el tiempo predeterminado termina, la computadora libera el token. Esto permite que más de una computadora pueda transmitir a la vez.

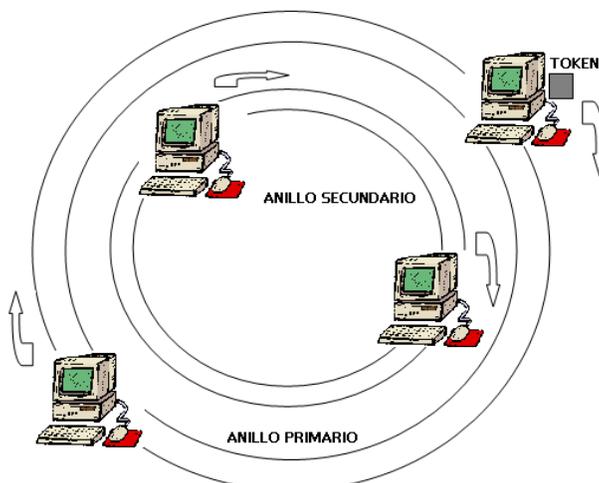


Figura V.2 Anillos de FDDI.



3.1.2. ESPECIFICACIONES.

La longitud total del cable de ambos anillos combinados no debe ser mayor a 200 Kms y no debe mantener más de 1000 computadoras. Sin embargo, puesto que el segundo anillo protege contra posibles fallas, las capacidades totales son divididas a la mitad. Por lo cual, cada red FDDI está limitada a 500 computadoras y 100 kilómetros de cable. También este debe tener repetidores cada 2 Kms o menos.

Las 4 áreas funcionales de las cuales se compone FDDI son:

- ↪ **Capa Dependiente del Medio Físico (PMD: Physical Media Dependent):** Corresponde a la capa física del modelo OSI, en ella se especifican las señales ópticas y la forma de las ondas sobre el cable de fibra, además de su instalación.
- ↪ **Protocolo de la Capa Física (PHY: Physical Layer Protocol):** Su función principal es codificar y decodificar las señales.
- ↪ **Control de Acceso al Medio (MAC: Media Access Control):** Planea y transfiere datos dentro y fuera del anillo FDDI, además de construir los paquetes, reconoce las direcciones de las estaciones.
- ↪ **Administración de Estación (SMT: Station Management):** Se encarga principalmente de la configuración inicial del anillo FDD y monitoreo del bit de error. Incluye la administración de la conexión y del anillo.

3.1.3. TRANSMISIÓN.

FDDI dispone de 3 modos de transmisión:

- ↪ **Servicios Asíncronos:** El modo del anillo asíncrono se basa en el uso de un testigo mediante el cual, cualquier estación puede acceder a la red. Este modo implica que no se establezca prioridad sobre algún tipo de tráfico, lo que perjudica el tránsito sensible al tiempo.
- ↪ **Servicios Síncronos:** El modo de anillo síncrono con testigo permite otorgar un nivel de prioridad al tráfico sensible al tiempo, de modo que los paquetes lleguen dentro de unos márgenes de tiempo. Las capacidades síncronas deben añadirse a través de actualizaciones de software en la mayoría de las tarjetas FDD existentes.

3.2. MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO (ATM).

Hacia los años 80 se plantea la necesidad de integrar de una forma eficiente aplicaciones tan diversas como la telefonía, videoconferencia, transferencia de datos, entre otros; mediante una única infraestructura de Red. En el año 1988 la CCITT lo consigue definiendo las características del ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).



Una red ATM es una red de switcheo de paquetes, que envía paquetes de longitudes fijas sobre las LAN's o las WAN's, en lugar de los paquetes de longitudes variables que emplean otras tecnologías (como **Frame Relay**²⁰). Los paquetes de longitud fija, o células, son paquetes de datos que contienen solo la información de la ruta básica que el paquete va a tomar, permitiendo a los dispositivos de switcheo distribuir o dirigir el paquete rápidamente.

Usando ATM, se pueden enviar datos desde una oficina a una localidad externa o remota. Los datos viajan sobre la LAN por líneas digitales hacia un switch ATM y del switch hacia la red ATM. Después pasa por la red ATM y llega hasta otro switch ATM a su LAN destino.

Por su gran ancho de banda, ATM puede servir para:

- ↪ Voz.
- ↪ Video en tiempo real.
- ↪ CD con calidad de audio.
- ↪ Datos de imágenes, como radiología en tiempo real.
- ↪ Transmisión de datos en megabits.

3.2.1. MÉTODO DE ACCESO.

Una red ATM usa el método de acceso punto a punto. Este método transfiere paquetes de longitud fija desde una computadora a otra, a través de equipos de switcheo ATM. Esto resulta en una tecnología que transmite, paquetes de datos compactos y pequeños a altas velocidades.

Características de ATM:

- ↪ Capacidad de integración de diversos tipos de tráfico.
- ↪ Asignación dinámica y flexible del ancho de banda.
- ↪ Emplea la técnica de multiplexado TDM (Multicanalización por División de Tiempo) estadístico a asíncrono y la técnica de conmutación de paquetes. En este sistema los paquetes tendrán un tamaño fijo de 53 bytes y el modo de operación será circuito virtual.
- ↪ Minimiza el procesamiento de paquetes en la red, para lo cual no se realizara control de errores en nodos ATM.
- ↪ El Control de Errores se realiza mediante hardware para conseguir una conmutación de paquetes rápida.
- ↪ Sus velocidades de transmisión van desde los 155 Mbps hasta los 622 Mbps.

²⁰ Frame Relay es otra tecnología de switcheo un poco similar a ATM, pues su método de acceso y su forma de operar es igual. La diferencia está en que esta tecnología opera con paquetes de longitudes variables.



3.2.2. CELULA ATM.

En ATM a los paquetes se les denomina **células**, y son de 53 bytes de tamaño fijo. Algunas razones para que este tamaño sea fijo y no variable son:

- ↪ El tamaño de cabecera de los paquetes será menor.
- ↪ Respecto a la velocidad de conmutación, el tiempo en conmutar con tamaño fijo es siempre constante.
- ↪ Respecto a la memoria, siempre es mejor almacenar paquetes de tamaño fijo que variable.
- ↪ A la hora de asignar algoritmos, es más sencillo hacerlo para paquetes de tamaño fijo.

Las redes basadas en el modo ATM son, redes de conmutación de células. Los switches ATM son Switches de paquetes optimizados para operar a velocidades elevadas. Por ello; los switches ATM aprovechan las elevadas velocidades de transmisión que proporcionan los diversos estándares físicos existentes, tales como SDH/SONET.

3.2.3. CONMUTACIÓN ATM.

Los nodos de conmutación empleados en las redes basadas en ATM (Switches ATM), son nodos de conmutación de paquetes que operan en modo circuito virtual.

3.2.3.1. CIRCUITO VIRTUAL.

- ↪ Cada paquete contiene en su cabecera la información de direccionamiento resumida, que por sí sola no identifica su destino, necesita una información complementaria. Esta información de direccionamiento se denomina VCI (Identificador de Circuito Virtual).
- ↪ La información que genera la tabla de encaminamiento es la del puerto de salida por el que se va a transmitir el paquete, y el VCI se sustituye por el que se indica en la tabla de encaminamiento paquete.

3.2.4. MEDIOS FÍSICOS EN ATM.

Las células ATM que se generan en los terminales, son conmutadas por los switches ATM y son recibidas por otros terminales. Tanto la generación como la conmutación son procesos asíncronos, en virtud del modo de transferencia que se aplica.

La normalización de la capa física, ha seguido una estructuración en subcapas:

- ↪ Subcapa de Convergencia de la Transmisión (Transmission Convergence, **TC**).
- ↪ Subcapa dependiente del Medio Físico (Physical Medium Dependent, **PMD**).



3.2.5. PROTOCOLO ATM.

El protocolo ATM consiste en 3 capas básicas:

- 1) **Capa Física (Physical Layer).** Describe el manejo del medio físico (voltajes, tiempos, entre otros). Es genérico y permite empaquetar celdas en la carga útil de otros portadores.

Tiene 2 subcapas:

- ↪ **PDM (Physical Medium Dependet).** Establece la interfaz real y transfiere bits.
 - ↪ **TC (Transmission Convergence).** Envía flujos de bits para que PMD los transmita como celdas. Obtiene un flujo de bits de PMD que debe convertir en celdas para ATM.
- 2) **Capa ATM.** Controla el transporte de celdas y cabeceras. Controla la congestión y decide el establecimiento y cierre de CV's.

Según los comités de estándares se han definido dos tipos de cabeceras:

- ↪ (User to Network Interface, **UNI**); Interfaz de Usuario de Red.
 - ↪ (Network to Network Interface, **NNI**); Red de Interfaz de Red.
- 3) **Capa de Adaptación de ATM (AAL, ATM Adaptation Layer).** Permite al usuario enviar información de cualquier longitud y oculta la existencia de celdas. Por tanto acepta paquetes, los segmenta/reensambla y los transmite usando la capa ATM.

3.2.6. CONTROL DE TRÁFICO EN ATM.

Una red ATM necesita capacidades para trabajar con distintas clases de servicio con errores potenciales en la red en cualquier momento. La red debe tener las siguientes capacidades de control de tráfico:

- ↪ Control de admisión de conexión.
- ↪ Parámetros para control de uso y control de la red.
- ↪ Control de Prioridad.
- ↪ Control de Congestión.

3.3. TECNOLOGÍA PDH.

La Jerarquía Digital Plesiócrona, conocida como **PDH** (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio; usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.



El término plesiócrono se deriva del griego **plesio**, cercano y **chronos**, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están casi, pero no completamente sincronizadas. La tecnología PDH, por ello, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal gracias a la forma en la que se forman las tramas.

Antes del surgimiento de la Jerarquía Digital Sincrónica (SDH), las transmisiones se hacían básicamente utilizando la Jerarquía Digital Plesiócronica (PDH), la idea básica es la de hacer una serie de multiplexaciones de señales provenientes de fuentes distintas, para así formar una señal común con un bite rate superior, haciendo determinada cantidad de multiplexaciones, con lo que se van formando las diferentes jerarquías propias de PDH.

Dichas jerarquías, están estandarizadas, pero estos estándares no son iguales en todo el mundo, a continuación se detallan los estándares que han asumido los distintos orígenes.

EUROPA	USA	JAPÓN
VELOCIDADES		
2 Mb/s	1.5 Mb/s	1.5 Mb/s
8 Mb/s	6 Mb/s	6 Mb/s
34 Mb/s	45 Mb/s	32 Mb/s
140 Mb/s	275 Mb/s	97 Mb/s

Tabla V.1 Velocidades de Transmisión.

3.3.1. Jerarquías Europea E1, Norteamericana T1 y Japonesa J1.

PDH se basa en canales de 64 kbps. En cada nivel de multiplexación se van aumentando el número de canales sobre el medio físico. Es por eso que las tramas de distintos niveles tienen estructuras y duraciones diferentes. Además de los canales de voz en cada trama viaja información de control que se añade en cada nivel de multiplexación, por lo que el número de canales transportados en niveles superiores es múltiplo del transportado en niveles inferiores, pero no ocurre lo mismo con el régimen binario.

Existen tres jerarquías PDH: la Europea **E1**, la Norteamericana **T1** y la Japonesa **J1**. La europea usa la trama descrita en la norma **G.732** de la **UIT-T** mientras que la norteamericana y la japonesa se basan en la trama descrita en **G.733**. Al ser tramas diferentes habrá casos en los que para poder unir dos enlaces que usan diferente norma haya que adaptar uno al otro, en este caso siempre se convertirá la trama al usado por la jerarquía europea.

Los niveles de multiplexación PDH utilizados en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá), Europa y Japón, se pueden apreciar a detalle en la tabla siguiente:



Norteamérica			Europa			Japón		
Circuitos	Kbits/s	Nombre	Circuitos	Kbits/s	Nombre	Circuitos	Kbits/s	Nombre
24	1544	T1	30	2048	E1	24	1544	J1
96	6312	T2	120	8448	E2	96	6312	J2
672	44736	T3	480	34368	E3	480	32064	J3
2016	274176	T4	1920	139264	E4	1440	97728	J4

Tabla V.2 Jerarquías Digitales.

El primer nivel TDM utilizado en todo el mundo excepto América del Norte y Japón agrupa 30 canales y se denomina **E1**; cada canal representa un byte cada 125 μ s (o sea 64 Kb/s); a estos 30 bytes se añaden otros dos para sincronización y entramado de la información de los diversos canales, por lo que una línea **E1** emite una trama de 32 bytes (256 bits) cada 125 μ s, o sea 8.000 veces por segundo. Esto equivale a un caudal de $256 \cdot 8.000 = 2.048$ Kb/s (o también $64 \text{ Kb/s} \cdot 32 = 2.048$ Kb/s).

El primer nivel jerárquico del sistema TDM empleado en América y Japón, denominado (**T1** y **J1**) es distinto. Agrupa 24 conversaciones en vez de 30, y utiliza un bit adicional para entramado. Así pues una trama **T1** tiene $24 \cdot 8 + 1 = 193$ bits, que emitidos 8.000 veces por segundo dan $193 \cdot 8.000 = 1.544$ Kb/s.

3.3.2. ESTRUCTURA DE LA TRAMA DIGITAL E1.

Cuando una línea **E1** se utiliza para transportar voz se pueden multiplexar 30 conversaciones, equivalentes a $30 \cdot 64 \text{ Kb/s} = 1.920$ Kb/s de tráfico, quedando reservados los 128 Kb/s restantes para sincronización y entramado; esto es lo que se conoce como un enlace **E1** estructurado y es bastante habitual; por ejemplo, para la interconexión de centralitas telefónica dentro de una gran empresa.

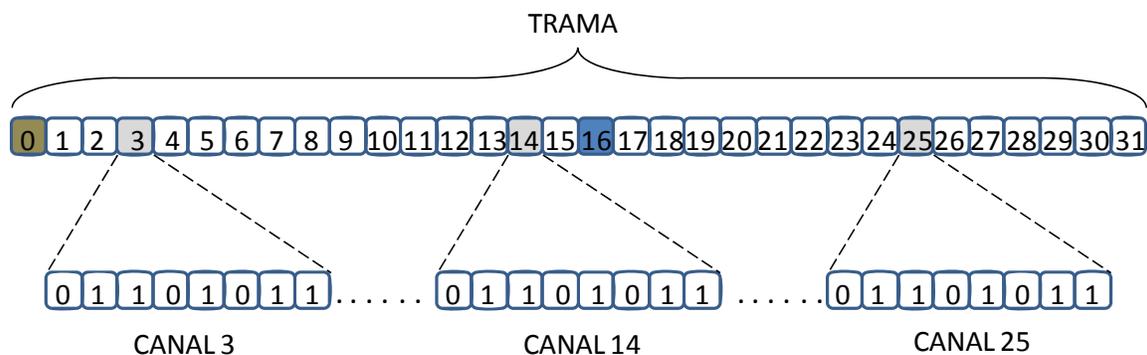


Figura V.3 Estructura de Trama Digital E1.

En la figura V.12, donde se puede apreciar la estructura de la Trama E1; de donde se puede resumir lo siguiente:

- ↪ La trama o Frame está compuesta por 32 canales.
- ↪ Cada canal tiene 8 bits, por lo que la trama es de 256 bits; es decir, 32 bytes.



- ↪ El Canal de Voz es de 4 KHz.
- ↪ Una señal es muestreada cada 125 μ s, debido al Muestreo.
- ↪ El **Canal 0**, es el canal de Sincronización de la Trama.
- ↪ El **Canal 16**, es el canal de Señalización
- ↪ Los **Canales 1-15 y 17-31**, son los canales de Voz/Datos.
- ↪ La **Velocidad** es igual a: ($V = 32 \text{ canales} * 64 \text{ Kb/s} = 2048 \text{ Kb/s}$) = **E1**.

Es posible y relativamente frecuente utilizar un enlace completo **E1** para conectar dos ordenadores o dos routers; en este caso el enlace no se estructura en canales y no es necesario reservar los dos bytes de sincronización y entramado; por tanto cuando un enlace **E1** se utiliza para transportar datos los 2.048 Kb/s están disponibles para el router.

3.3.3. NIVELES DE MULTIPLEXACIÓN.

Dado que el nivel básico (**E1** o **T1**) difiere según los continentes, todos los niveles superiores, que se construyen a partir de éste son también diferentes. Por ejemplo en el sistema utilizado en Europa **cuatro** líneas **E1** se agrupan para formar una **E2**; dicha agrupación tiene un caudal de **8,448 Kb/s**, ligeramente superior al que correspondería por la simple suma de los cuatro **E1** ($2,048 \text{ Kb/s} * 4 = 8,192 \text{ Kb/s}$) debido nuevamente a la información de entramado y sincronización.

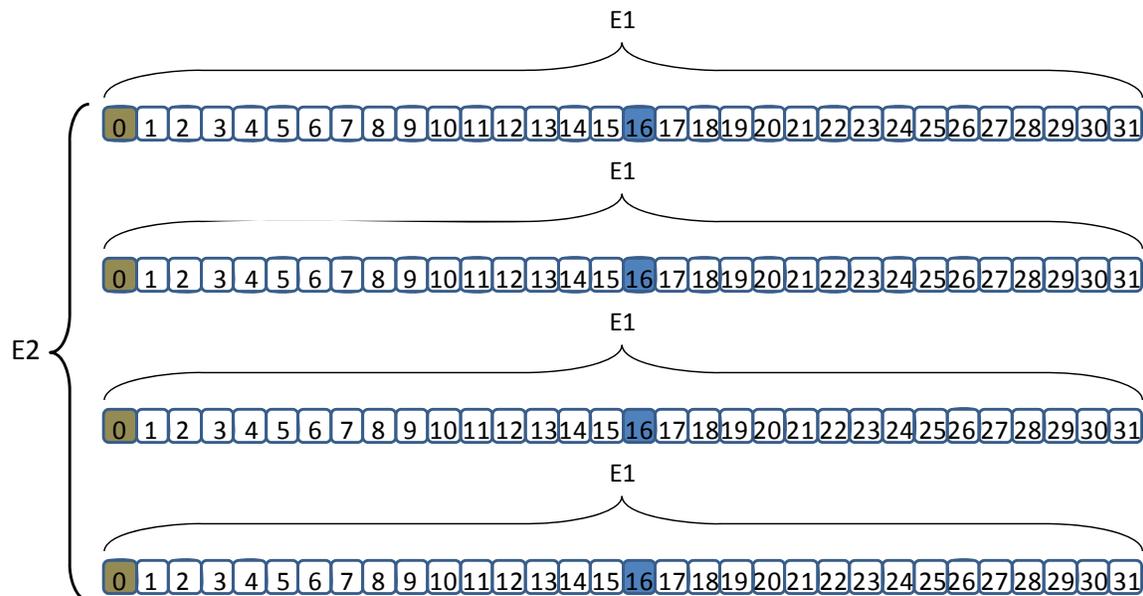


Figura V.4 Niveles de Superiores de Multiplexación (E2).

En la figura V.13, donde se puede apreciar la construcción de una Trama E2; de donde se puede resumir lo siguiente:

- ↪ La Trama **E2** está compuesta por el agrupamiento de **4** Tramas **E1**.
- ↪ La trama o Frame está compuesta por 128 canales.



- ↪ Cada canal tiene 8 bits, por lo que la trama es de 1024 bits; es decir, 128 bytes.
- ↪ La **Velocidad** es $V = 8448 \text{ Kb/s} = E2$.

Conocida el caudal de una línea es posible calcular su tamaño de trama dividiéndola por 8.000 (recordemos que la frecuencia de muestreo en todo el mundo es de 8 KHz); por ejemplo, una trama **E2** tiene un tamaño de 1.056 bits.

La trama correspondiente a cada nivel se construye multiplexando tramas del nivel anterior; así por ejemplo una trama **E2** (120 canales) está formada por cuatro **E1** (30 canales). Cada nivel añade bits de sincronismo adicionales al construir su trama, por ejemplo, una trama **E2** está formada por cuatro tramas **E1** de 256 bits cada una más 32 bits adicionales. A su vez cuatro líneas **E2** forman una **E3** (34,368 Kb/s), y así sucesivamente.

3.4. TECNOLOGÍA SDH.

En principio, SDH (jerarquía digital síncrona, por sus siglas en ingles) es una tecnología que permite el transporte en capa física de una gran cantidad de tráficos y gestiona su transmisión de forma eficiente.

Un enlace SDH puede ser visto como un canal o tubería en la cual pueden ser insertados paquetes de tráfico con una información asociada para su correcta entrega en el destino y que además permite conocer el comportamiento de dicho paquete en su recorrido.

El protocolo SDH define todos los elementos necesarios para llevar a cabo el transporte en la primera capa del modelo OSI. Entre estos estandariza la utilización eficiente de las interfaces ópticas y radioeléctricas, la multiplexión digital, la sincronización, los esquemas de protección y parte de la gestión de red.

3.4.1. ORIGENES Y ANTECEDENTES DE LAS REDES SDH.

En el año 1985 la empresa Bell Core, le hace una propuesta al ANSI de estandarizar las velocidades mayores a 140Mb/s, que hasta el momento eran propietarias de cada empresa. En 1986, la Bell Core, y La AT&T, proponen al CCITT, posibles velocidades de transmisión para que las mismas sean estandarizadas, cada una de estas empresas propone diferentes velocidades de transmisión posibles.

En el año de 1988 se produce la primera regulación de la Jerarquía Digital Síncrona (**JDS**), o más conocida por sus siglas en ingles "Synchronous Digital Hierarchy" (**SDH**). La jerarquía digital síncrona **SDH** nace de una iniciativa por mejorar las prestaciones que hasta entonces habían dado las redes **PDH** (jerarquía digital plesiócrona, por sus siglas en ingles) con algunas limitantes propias de las redes plesiócronicas. La Bellcore propone una normalización a la **ANSI** (Instituto Nacional Americano de Estándares, por sus siglas en ingles) para sacar un estándar que reuniera a todos los operadores de fibras ópticas que operaban de forma síncrona.

El estándar de la ANSI es conocido como **SONET** (Synchronous Optical Network), el cual luego es propuesto a la CCITT (ahora, ITUT) que emite la normalización para **SDH** en el



libro azul de 1989. Este estándar agrupa las recomendaciones **G.707**, **G.708** y **G.709** para el armado de tramas, **G.781**, **G.782** y **G.783** con la información referente a los multiplexores, **G.784** con la gestión y administración TMN de la red, y en **G.957** y **G.958** la información referente a interfaces.

La jerarquía digital síncrona **SDH**, se puede considerar como la revolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados.

3.4.2. DEFINICIÓN DE SONET.

SONET pretendía ser una jerarquía síncrona que sustituyera a la **PDH** americana por encima del nivel T3 (que era el más utilizado); para encapsular eficientemente una trama T3 se consideró que haría falta una trama SONET de 49,9 Mb/s (se necesitaban 5 Mb/s adicionales para la información de control y gestión del sistema, que era uno de los tres problemas a resolver. Por tanto la velocidad básica de SONET sería 49,9 Mb/s y a partir de ella se construirían todas las demás como simples múltiplos de la velocidad fundamental.

SONET es un estándar ANSI y tiene la velocidad fundamental de 51,84 Mb/s. Todas las velocidades superiores son múltiplos de esta velocidad, que se denomina OC-1 (Optical Carrier 1) cuando se trata de la interfaz óptica y STS-1 (Synchronous Transfer Signal 1) cuando es la interfaz eléctrica. Los múltiplos se denominan OC- n o STS- n donde n indica el múltiplo utilizado.

3.4.3. DEFINICIÓN DE SDH.

SDH es un estándar para redes de telecomunicaciones de "alta velocidad, y alta capacidad". Más específicamente es una jerarquía digital sincrónica. Este es un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible.

Las antiguas redes fueron desarrolladas en el tiempo en que las transmisiones punto a punto eran la principal aplicación de la red. Hoy en día los operadores de redes requieren una flexibilidad mucho mayor.

La CCITT (ITU-T) aprobó el estándar denominado **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) que se basa en los mismos principios de funcionamiento que SONET y que utiliza como velocidad fundamental el triple de la velocidad fundamental de SONET, es decir OC-3 (155,52 Mb/s); esta velocidad se denomina STM-1 (Synchronous Transfer Module 1). Todos los valores superiores son múltiplos de esta y se denominan STM- n , donde n indica el múltiplo utilizado.

De esta forma el problema de transportar tramas PDH dentro de tramas SONET/SDH se resuelve en el caso americano metiendo un T3 en un OC-1 y en el europeo metiendo un E4 en un STM-1.



La compatibilidad de SONET y SDH está garantizada siempre y cuando las velocidades de SONET sean siempre múltiplo de 3. Hasta tal punto son compatibles entre sí los dos estándares que a menudo se hace referencia a ellos conjuntamente con la denominación SONET/SDH. La tabla V.3 resume las velocidades más utilizadas. Conviene destacar que las comunicaciones SONET/SDH siempre son simétricas full dúplex.

SONET		SDH	VELOCIDAD
ELÉCTRICO	ÓPTICO	ÓPTICO	(Mb/s)
STS-1	OC-1	STM-0	51
STS-3	OC-3	STM-1	155
STS-12	OC-12	STM-4	622
STS-48	OC-48	STM-16	2488
STS-192	OC-192	STM-64	9953

Tabla V.3 Velocidades SONET/SDH más habituales.

3.4.4. MODULO DE TRANSPORTE SÍNCRONO (STM-N)

El módulo de transporte síncrono (**STM**) es donde va contenida toda la carga de tributarios y agregados de la red SDH en forma de contenedores. Un contenedor es el elemento básico de carga de la red SDH y está conformado por los bits de información de una señal de tributario, la cual esta empaquetada dentro del contenedor. El tamaño del contenedor depende del tamaño de la información que será empaquetada en él, y existe una cantidad discreta de tamaños que corresponden a cada una de las tasas de señales PDH.

Como cada paquete de tráfico está asociado a un origen (que es el emisor del paquete) y un destino (que es el que lo recibe), debe llevar una información asociada a estos y a la ruta que recorre. Esta información se conoce como la Tara o cabecera de ruta (camino) y permite etiquetar el tráfico asociado a un contenedor para trazar su camino a través de la red SDH. El elemento obtenido de empaquetar un contenedor junto con su cabecera de ruta asociada se conoce como contenedor virtual (**VC**). Un contenedor virtual también puede conformarse a partir de grupos de unidades tributarias (**TUG**).

Los contenedores virtuales están organizados de acuerdo a la jerarquía de la señal **PDH** a la cual están asociados. Un **VC12** lleva asociado una señal de 2 Mbps (un **E1**), un **VC11** carga una señal de 1,54 Mbps (un **DS1**), un **VC3** una señal de 34 Mbps y un **VC4** una señal de 140 Mbps (un **STM-1**). Un contenedor virtual de una jerarquía mayor puede portar en su interior otros de jerarquía menor, por ejemplo, un **VC4** puede construirse a partir de 63 **VC12**. Todos los contenedores virtuales están contenidos dentro del área de carga útil (en ingles payload area) de la señal **STM-N**.

La estructura de multiplexación **SDH** define como una señal digital de tributario es empaquetada, mapeada y llevada hasta su destino. Inicialmente el tráfico de tributario es empaquetado en un contenedor al cual le es agregado un encabezado de camino para ser convertido en un contenedor virtual (**VC**), a este a su vez se le agrega un puntero para

marcar su ubicación y esto es conocido como unidad tributaria (Tributary Unit, **TU**). Las unidades tributarias son multiplexadas en grupos de unidades tributarias (**TUG**) y estos a su vez en grupos de unidades administrativas (**AUG**) según unas reglas estrictas de multiplexación mostradas en la figura V.14.

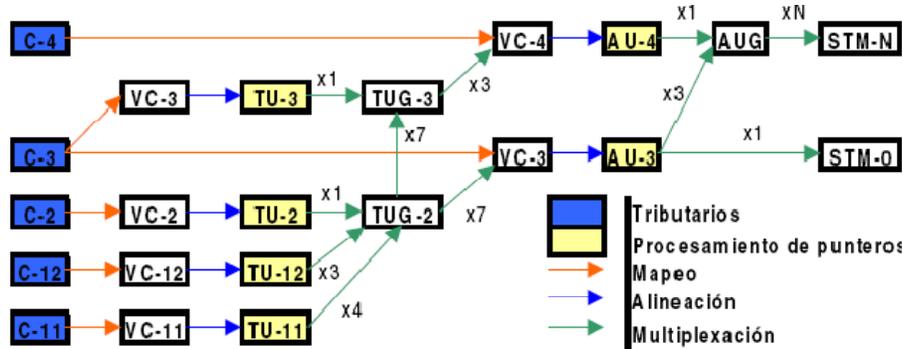


Figura V.5 Estructura de Multiplexación en SDH.

3.4.5. ESTRUCTURA DE LA TRAMA STM-1.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Ésta es la razón por la que la ITU-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en la nueva. La trama básica de SDH es el **STM-1** (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura **STM-1**. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras **STM-1**, dando lugar a los niveles **STM-4**, **STM-16**, **STM-64** y **STM-256**.

Las tramas contienen información de cada uno de los componentes de la red, trayecto, línea y sección, además de la información de usuario. Los datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria.

A estos contenedores se les añade una información adicional denominada "tara de trayecto" (Path overhead), que consiste en una serie de bytes utilizados con fines de mantenimiento de red, y que dan lugar a la formación de los denominados contenedores virtuales (VC). El resultado de la multiplexación es una trama formada por 9 filas de 270 octetos cada una (270 columnas de 9 octetos). La transmisión se realiza bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba abajo. La trama se transmite a razón de 8000 veces por segundo (cada trama se transmite en 125 μ s). Por lo tanto, el régimen binario (Rb) para cada uno de los niveles es:



$STM-1 = 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 155 \text{ Mbps}$
 $STM-4 = 4 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 622 \text{ Mbps}$
 $STM-16 = 16 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 2.5 \text{ Gbps}$
 $STM-64 = 64 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 10 \text{ Gbps}$
 $STM-256 = 256 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 40 \text{ Gbps}$

En la tabla V.4 se muestran los Módulos de Transporte con sus respectivas velocidades.

Módulo de Transporte	Velocidad
STM-1	155 Mb/s
STM-4	622 Mb/s
STM-16	2.6 Gb/s
STM-64	10 Gb/s
STM-256	40 Gb/s

Tabla V.4 Velocidades de STM.

De las 270 columnas que forman la trama STM-1, las 9 primeras forman la denominada "tara" (overhead), independiente de la tara de trayecto de los contenedores virtuales antes mencionados, mientras que las 261 restantes constituyen la carga útil (Payload).

En la tara están contenidos bytes para alineamiento de trama, control de errores, canales de operación y mantenimiento de la red y los punteros, que indican el comienzo del primer octeto de cada contenedor virtual.

En la figura V.6 se puede apreciar el Formato de la Trama STM-1.

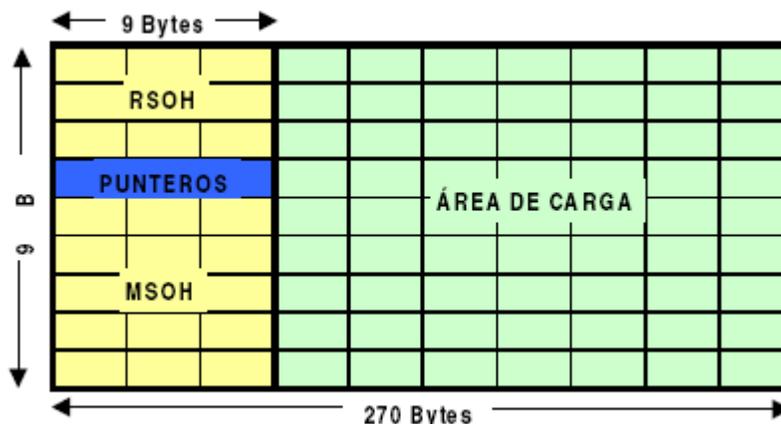


Figura V.6 Formato de Trama STM-1.

3.4.6. VENTAJAS DE SDH.

La tecnología SDH, ofrece a los proveedores de redes las siguientes ventajas:



A) Altas velocidades de transmisión.

Los modernos sistemas SDH logran velocidades de 10 Gbit/s. SDH es la tecnología más adecuada para los "backbones", que son realmente las superautopistas de las redes de telecomunicaciones actuales.

B) Función simplificada de inserción/extracción.

Comparado con los sistemas PDH tradicionales, ahora es mucho más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas SDH de alta velocidad. Ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona, procedimiento que en el mejor de los casos era complejo y costoso. Esto se debe a que en la jerarquía SDH todos los canales están perfectamente identificados por medio de una especie de "etiquetas" que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.

C) Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación.

La tecnología SDH permite a los proveedores de redes reaccionar rápida y fácilmente frente a las demandas de sus clientes. Por ejemplo, conmutar las líneas alquiladas es sólo cuestión de minutos. Empleando un sistema de gestión de redes de telecomunicaciones, el proveedor de la red puede usar elementos de redes estándar controlados y monitorizados desde un lugar centralizado.

D) Fiabilidad.

Las modernas redes SDH incluyen varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema. Un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red, lo que podría ser un desastre financiero para el proveedor. Estos circuitos de protección también se controlan mediante un sistema de gestión.

E) Plataforma a prueba de futuro.

Actualmente, SDH es la plataforma ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, MAN, WAN) y es igualmente adecuada para los servicios más recientes, como el video bajo demanda (VOD) o la transmisión de video digital vía ATM.

F) Interconexión.

Con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de redes y hacia los sistemas SONET. Las interfaces SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes. La consecuencia inmediata es que los gastos en equipamiento son menores en los sistemas SDH que en los sistemas PDH. El motor que genera toda esta evolución es la creciente demanda de más ancho de banda, mejor calidad de servicio y mayor fiabilidad, junto a la necesidad de reducir costos manteniendo la competitividad.

CAPITULO VI

“PROTOTIPO DE RED LAN CON FIBRA ÓPTICA”



... Caer está permitido. ¡Levantarse es obligatorio!
Proverbio Ruso.



1. SITUACIONES DE UNA RED DE DATOS.

La forma en que las compañías y las organizaciones hacen uso de las redes ha cambiado con el transcurso del tiempo. Las iniciativas actuales pueden llegar a enfatizar una conectividad externa, tal vez como intranets que conectan varias localidades corporativas o con extranets que se conectan con clientes y proveedores. Este tipo de *networking* permite una comunicación directa, independientemente del lugar en que se encuentran, así como obtener una cadena de suministro mucho más efectiva. Las intranets fomentan de manera significativa la eficiencia de los empleados, a la vez de permitir un despliegue más rápido de las nuevas aplicaciones comerciales en comparación con el pasado.

Como resultado de estas demandas, se ha recurrido a la intervención y a la confiabilidad de las redes propietarias, así como de los proveedores de servicio de redes debido a que las aplicaciones comerciales críticas dependen más que nunca de las redes en áreas amplias. Para muchas compañías actuales, una red confiable y siempre disponible, puede significar su éxito en el mercado y en algunos casos su supervivencia.

1.1. ANÁLISIS DE UNA RED CONVENCIONAL.

Una red de telecomunicaciones consiste en la interacción de 3 subsistemas:

- a) Sistema de Transmisión.
- b) Sistema de Conmutación.
- c) Sistema de Señalización.

Las redes convencionales están especializadas de acuerdo al servicio que brindan, de esta forma existen redes de voz (servicio telefónico), redes de datos, redes de TV por cable (CATV), redes de telex, entre otros. Cada una de estas redes tiene su propio cableado dentro de los centros urbanos y este cableado está adaptado a las necesidades del servicio que se ofrece (par balanceado para telefonía, coaxial para CATV, entre otras); además cada red tiene sus propios nodos de conmutación (centrales telefónicas, nodos de conmutación de paquetes para las redes de datos, entre otros). Sin embargo cuando es necesario vincular estas redes urbanas en una única red nacional e internacional, el sistema de comunicaciones que permite realizar esto es único y se conoce como *red de transporte*.

1.2. TENDENCIALES ACTUALES.

En general, la evolución de las redes de transporte avanza localmente de forma gradual con cada pequeña ampliación y mejora justificada, con criterios de inversión muy estrictos pero está limitada por la necesidad de preservar la compatibilidad con lo existente. El cambio de analógico a digital fue un importante avance tecnológico, pero treinta años después de las primeras instalaciones digitales es sólo ahora cuando se está completando la digitalización en las áreas más avanzadas. El mismo período ha visto la automatización de la telefonía pública con centrales controladas por procesador explotando el impulso de la industria informática, la señalización internacional de abonado a abonado y el potencial de los servicios digitales integrados.



La red de transporte está ahora en las primeras etapas de transformación hacia objetivos y potenciales similares. Se caracteriza por la sustitución del cobre por fibra óptica como el medio de transmisión en todas las partes, por la automatización de la operación y gestión de red, y por la capacidad de proporcionar una gran variedad de servicios en una infraestructura cada vez más integrada.

La tendencia actual es hacia una red de transporte digital multiservicio basada en la tecnología SDH (Jerarquía Digital Sincrónica) capaz de soportar aplicaciones de ancho de banda pequeño o grande y de tasa de bit constante o variable. A su vez los servicios serán provistos a través de una red única RDSI (Red Digital de Servicios Integrados - en inglés ISDN) que llegará a cada abonado con un único medio físico y las centrales de conmutación serán también comunes a todos los servicios.

2. PROTOTIPO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES MODERNA.

Los rápidos cambios tecnológicos de los últimos años en materia de comunicaciones hicieron indispensable la consideración del cableado en los edificios como una inversión estratégica para la adopción de nuevas tecnologías de transmisión, sin que exista la necesidad de realizar tendidos adicionales.

De la misma manera que un edificio tiene incorporado las instalaciones de agua, gas, drenaje, instalaciones de energía eléctrica; un nuevo edificio, de acuerdo a ciertos requerimientos, contempla una red de cableado apto para transmitir voz, datos e imagen; y esta deberá ser realizada bajo los lineamientos de las normas correspondientes, para asegurar su utilidad en tiempo y funcionalidad.

2.1. ORIGEN DEL CABLEADO ESTRUCTURADO.

Los sistemas telefónicos y de informática se desarrollaron de manera separada. Cada proveedor realizaba la instalación de cables que más le convenía, y este no podía ser utilizado por otros fabricantes, perjudicando al cliente cuando decidía efectuar cambio de proveedor, dado que los equipos nuevos no eran compatibles con el cableado instalado, obligaba al cliente a seguir con el mismo proveedor de la red.

Los sistemas de cableado para teléfonos fueron en una oportunidad especificados e instalados por las compañías de teléfonos, mientras que el cableado para datos estaba determinado por los proveedores del equipo de computación.

Después de la división de la compañía AT&T en los Estados Unidos, se hicieron intentos para simplificar el cableado, mediante un enfoque más universal. A pesar de que estos sistemas ayudaron a definir las pautas relacionadas con el cableado, no fue sino hasta la publicación de la *Norma sobre Tendido de Cables en Edificios ANSI/EIA/TIA-568* (Ver Tema 2.4 de este mismo Capítulo) en 1991, que estuvieron disponibles las especificaciones completas para guiar en la selección e instalación de los sistemas de cableado. El funcionamiento del sistema deberá ser considerado no sólo cuando se están atendiendo las



necesidades actuales; sino también la migración a aplicaciones de redes más rápidas sin necesidad de incurrir en costosas actualizaciones del sistema de cableado.

En el mercado actual, ávido de información, el poder proveer de comunicaciones de voz y datos por intermedio de un Sistema de Cableado Estructurado Universal es un requisito básico de los negocios. Los Sistemas de Cableado Estructurado proveen la plataforma o base sobre la que se puede construir una estrategia general de los sistemas de información.

2.2. SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO.

Es una metodología, basada en estándares, para diseñar e instalar de forma óptima y ordenada, un sistema de cableado que integra la transmisión de voz, datos y video.

Un Sistema de Cableado Estructurado propiamente diseñado e instalado; proporciona una infraestructura de cableado, que suministra un desempeño predefinido y la flexibilidad de acomodar futuro crecimiento por un período extendido de tiempo.

Los Sistemas de Cableado Estructurado deben emplear una Arquitectura de Sistemas Abiertos (OSA por sus siglas en inglés) y soportar aplicaciones basadas en estándares. El diseño permite proveer un solo punto para efectuar movimientos y adiciones de tal forma que la administración y mantenimiento se convierten en una labor simplificada. La gran ventaja de los Sistemas de Cableado Estructurado es que cuenta con la capacidad de aceptar nuevas tecnologías sólo con cambiar los adaptadores electrónicos en cada uno de los extremos del sistema.

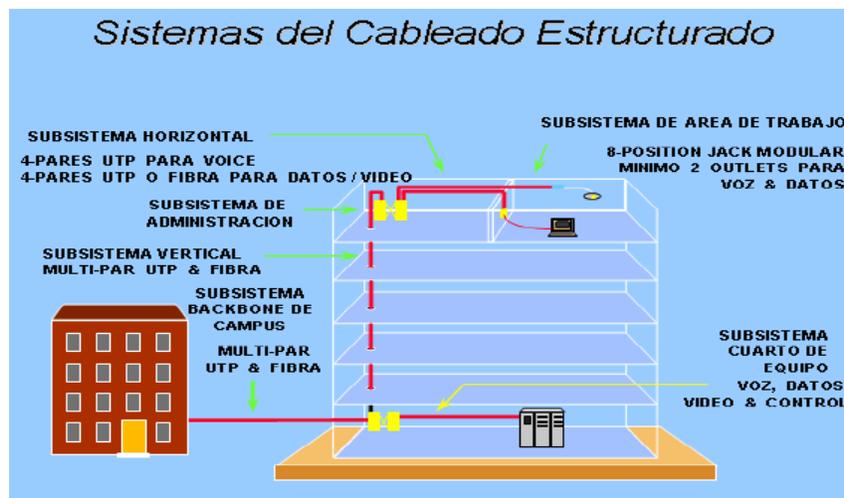


Figura VI.1 Cableado Estructurado.

Entre las características generales de un Sistema de Cableado Estructurado destacan las siguientes:

- ↳ Solución Segura: El cableado se encuentra instalado de tal manera que los usuarios del mismo tienen la facilidad de acceso a lo que deben de tener y el resto del cableado se encuentra perfectamente protegido.



- ↪ Solución Longeva: La instalación se convierte en parte del edificio, así como lo es la instalación eléctrica, por tanto este tiene que ser igual de funcional que los demás servicios del edificio.
- ↪ Modularidad: Capacidad de integrar varias tecnologías sobre el mismo cableado (voz, datos y vídeo).
- ↪ Fácil Administración: El cableado estructurado se divide en partes manejables que permiten hacerlo confiable y perfectamente administrable, pudiendo así detectar fallas y repararlas fácilmente.
- ↪ Responde a los Estándares: Por esta causa garantiza la compatibilidad y calidad conforme a los establecido por las diferentes organizaciones como son:
 - ☞ EIA/TIA Electronics Industries Association. / Telecommunications Industry Association.
 - ☞ CSA Canadian Standars Association.
 - ☞ IEEE Institute of Electrical & Electronics Engineers.
 - ☞ ANSI American National Standars Institute.
 - ☞ ISO International Organization for Standardization.

2.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO.

El cableado Estructurado se divide en una serie de subsistemas. Cada subsistema tiene una variedad de cables y productos diseñados para proporcionar una solución adecuada para cada caso. Los distintos elementos que lo componen son los siguientes:

ELEMENTO
Acometida
Cuarto de Equipo
Cableado del Backbone (Vertical)
Cuarto de Telecomunicaciones
Cableado Horizontal
Cuarto de Entrada de Servicios
Sistema de Puesta Tierra y Punteado

Tabla VI.1. Componentes del Cableado Estructurado.

En la figura VI.2 se muestra una simulación, detallada de un Sistema de Cableado Estructurado.

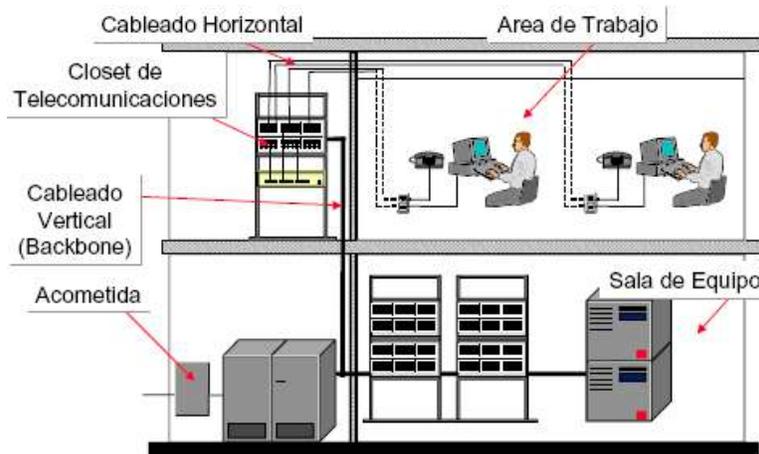


Figura VI.2 Simulación de un Sistema de Cableado Estructurado.

2.3.1. ACOMETIDA.

Es el punto donde se instalan los equipos de terminación de red de un proveedor de servicios de telecomunicaciones. Sus características se definen en la norma EIA/TIA-569.

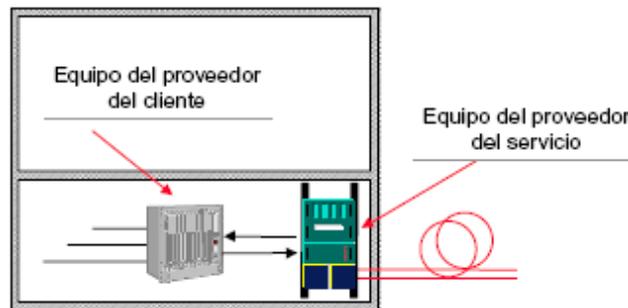


Figura VI.3 Acometida.

2.3.2. CUARTO DE EQUIPO.

Espacio centralizado de uso específico para equipo de telecomunicaciones En él se instalan los equipos tales como: Ruteadores, Concentradores, Switches y Conmutadores Telefónicos.

Se consideran distintos de los Cuartos de Telecomunicaciones por la naturaleza, costo, tamaño y/o complejidad del equipo que contienen, aunque varias o todas las funciones de un Cuarto de Telecomunicaciones pueden ser proporcionadas por un Cuarto de Equipo, por lo cual, todo edificio debe contener un Cuarto de Telecomunicaciones o Cuarto de Equipo. Incluyen espacio de trabajo para personal de telecomunicaciones.

Los requerimientos del Cuarto de Equipo se especifican en los estándares ANSI/TIA/EIA-568A y ANSI/TIA/EIA/569.

2.3.3. CABLEADO DEL BACKBONE (VERTICAL).

El cableado vertical (o de “backbone”) es el que interconecta los distintos armarios de comunicaciones (ver Figura VI.4). Éstos pueden estar situados en plantas o habitaciones distintas de un mismo edificio o incluso en edificios colindantes. En el cableado vertical es usual utilizar fibra óptica o cable UTP, aunque en algunos casos se puede usar cable coaxial. Incluye la conexión vertical en edificios de varios pisos, así como medios de transmisión (cable), puntos principales e intermedios de conexión cruzada y terminaciones mecánicas.

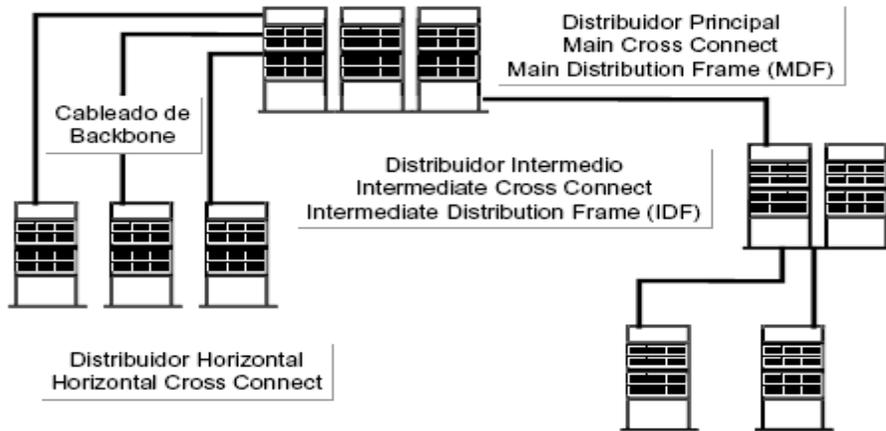


Figura VI.4. Cableado Vertical.

La topología que se usa es en estrella existiendo un panel de distribución central al que se conectan los paneles de distribución horizontal. Entre ellos puede existir un panel intermedio, pero sólo uno.

En el cableado vertical están incluidos los cables del “backbone”, los mecanismos en los paneles principales e intermedios, los cables usados para el parcheo y los mecanismos que terminan el cableado vertical en los armarios de distribución horizontal. Sus características se definen en la norma TIA/EIA-568A.

2.3.4. CUARTO DE TELECOMUNICACIONES.

Área en un edificio utilizada para el uso exclusivo de equipo asociado con el sistema de cableado de telecomunicaciones, la cual no debe ser compartida con instalaciones eléctricas que no sean de telecomunicaciones. Debe ser capaz de albergar equipo de telecomunicaciones, terminaciones de cable y cableado de interconexión asociado. Su diseño debe considerar, además de voz y datos, la incorporación de sistemas de información tales como televisión por cable, alarmas, seguridad, audio y otros sistemas de telecomunicaciones.

En la tabla VI.2 se identifican las características del cuarto de telecomunicaciones.



CARACTERISTICA	DETALLES
Diseño	Este depende de: <ul style="list-style-type: none"> ➤ El tamaño del edificio. ➤ Las necesidades de los ocupantes. ➤ Los servicios de telecomunicaciones a utilizarse.
Cantidad	Debe de haber un mínimo de un CT (Cuarto de Telecomunicaciones) por edificio (de preferencia uno por piso) no hay máximo.
Altura	La altura mínima recomendada es de 2.6 metros.
Ductos	El número y tamaño de los ductos utilizados para acceder el cuarto de telecomunicaciones varía con respecto a la cantidad de áreas de trabajo, sin embargo se recomienda por lo menos tres ductos para la distribución del cable del backbone.
Puertas	La(s) puerta(s) de acceso debe(n) ser de apertura completa, con llave y de al menos 91 centímetros de ancho y 2 metros de alto.
Polvo y electricidad estática	Se debe evitar el polvo y la electricidad estática utilizando piso de concreto, loza o similar (no utilizar alfombra). De ser posible, aplicar tratamiento especial a las paredes pisos y cielos para minimizar el polvo y la electricidad estática.
Control ambiental	En cuartos que no tienen equipo electrónico la temperatura del cuarto de telecomunicaciones debe mantenerse continuamente (24 horas del día, 365 días del año) entre 10 y 35 °C. La humedad relativa debe mantenerse menor a 85%. En cuartos que tienen equipo electrónico la temperatura del cuarto de telecomunicaciones debe mantenerse continuamente (24 horas del día, 365 días del año) entre 18 y 24 °C. La humedad relativa debe mantenerse entre 30 y 55%.
Techo falso	Se debe evitar el uso de techos falsos en los cuartos de telecomunicaciones.
Prevención de Inundaciones	Los cuartos de telecomunicaciones deben estar libres de cualquier amenaza de inundación. No debe haber tubería de agua pasando por (sobre o alrededor) del cuarto de telecomunicaciones. De haber regaderas contra incendio, se debe tener disponibilidad para drenar un goteo potencial de las regaderas.
Pisos	Los pisos de los cuartos de telecomunicaciones deben soportar una carga de 2.4KPa ²¹
Iluminación	Se debe proporcionar un mínimo equivalente a 540 lux, medida de un metro del piso terminado. La iluminación debe estar a un mínimo de 2.6 metros del piso laminado. Las paredes deben estar pintadas claro para mejorar la iluminación. Se recomienda el uso de luces de emergencia.
Localización	Con el propósito de mantener la distancia horizontal de cable promedio en 46 metros o menos (con un máximo de 90 metros), se recomienda localizar el cuarto de telecomunicaciones lo más cerca posible del centro del área a servir.
Potencia	Debe haber tomacorrientes suficientes para alimentar los dispositivos a instalarse. Se recomienda instalar un panel de control eléctrico dedicado para el cuarto de telecomunicaciones. La alimentación específica de los dispositivos

²¹ KPa Unidad de presión 1kg/cm²=100 KPa.



	electrónicos se podrá hacer con un UPS (Unidad de Energía Ininterrumpible).
Seguridad	Se debe mantener el cuarto de telecomunicaciones con llave en todo momento. Se debe mantener el cuarto limpio y ordenado.
Requisitos de tamaño	Debe haber al menos un cuarto de telecomunicaciones o cuarto de equipo por piso y por áreas que no excedan los 1000 metros cuadrados.
Disposición de equipos	Los racks deben de contar con al menos 82 cm. de espacio de trabajo libre alrededor de los equipos y paneles de telecomunicaciones. La distancia de 82 cm. se debe medir a partir de la superficie más salida del rack.
Paredes	Las paredes deben ser pintadas con pintura resistente al fuego, lavable y de color claro.
Estándares relacionados	<p>Estándar ANSI/TIA/EIA-568A de Alambrado de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales.</p> <p>Estándar ANSI/TIA/EIA-569 de Rutas y Espacios de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales.</p> <p>Estándar ANSI/TIA/EIA-606 de Administración para la Infraestructura de Telecomunicaciones de Edificios Comerciales.</p> <p>Estándar ANSI/TIA/EIA-607 de Requerimientos de Puesta a Tierra u Puentado de Telecomunicaciones de Edificios Comerciales.</p> <p>Manual de Métodos de Distribución de Telecomunicaciones de Building Industry Consulting Service International.</p> <p>ISO/IEC 11801 Generic Cabling for Customer Premises National Electrical Code 1996 (NEC).</p> <p>Código Eléctrico Nacional 1992 (CODEC).</p>

Tabla VI.2 Cuarto de Telecomunicaciones.

2.3.5. CABLEADO HORIZONTAL.

El cableado horizontal incorpora el sistema de cableado que se extiende desde el área de trabajo de telecomunicaciones hasta el cuarto de telecomunicaciones (ver Figura VI.5). El cableado horizontal consiste de dos elementos básicos:

- ↪ **Cable horizontal y Hardware de Conexión (Cableado Horizontal).**
Proporcionan los medios para transportar señales de telecomunicaciones entre el área de trabajo y el cuarto de telecomunicaciones. Estos componentes son los “contenidos” de las rutas y espacios horizontales.
- ↪ **Rutas y Espacios Horizontales (Sistemas de Distribución Horizontal).**
Son utilizados para distribuir y soportar cable horizontal y conectar hardware entre la salida del área de trabajo y el cuarto de telecomunicaciones. Estas rutas y espacios son los “contenedores” del cableado horizontal.

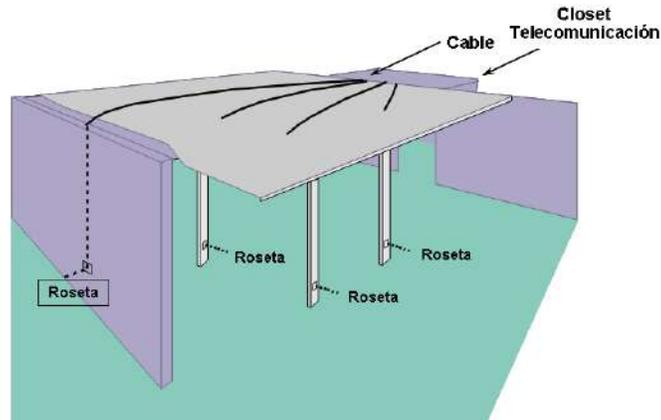


Figura VI.5 Cableado Horizontal.

El cableado horizontal incluye:

- ↪ Las salidas (cajas/placas/conectores) de telecomunicaciones en el área de trabajo. En ingles: Work Area Outlets (WAO).
- ↪ Cables y conectores de transición instalados entre las salidas del área de trabajo y el cuarto de telecomunicaciones.
- ↪ Paneles de empate (patch) y cables de empate utilizados para configurar las conexiones de cableado horizontal en el cuarto de telecomunicaciones.

2.3.5.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Los costos en materiales, mano de obra e interrupción de labores al hacer cambios en el cableado horizontal pueden ser muy altos. Para evitar estos costos, el cableado horizontal debe ser capaz de manejar una amplia gama de aplicaciones de usuario. La distribución horizontal debe ser diseñada para facilitar el mantenimiento y la relocalización de áreas de trabajo.

El cableado horizontal deberá diseñarse para ser capaz de manejar diversas aplicaciones de usuario incluyendo:

- ↪ Comunicaciones de voz (teléfono).
- ↪ Comunicaciones de datos.
- ↪ Redes de Área Local.

El diseñador también debe considerar incorporar otros sistemas de información del edificio (por ejemplo, otros sistemas tales como televisión por cable, control ambiental, seguridad, audio, alarmas y sonido) al seleccionar y diseñar el cableado horizontal.



2.3.5.2. TOPOLOGÍA.

El cableado horizontal se debe implementar en una topología de estrella (ver figura VI.6). Cada salida del área de trabajo de telecomunicaciones debe estar conectada directamente al cuarto de telecomunicaciones.

2.3.5.3. DISTANCIA DEL CABLE.

La distancia horizontal. Esta es la distancia desde el área de trabajo de telecomunicaciones hasta el cuarto de telecomunicaciones. Al establecer la distancia máxima se hace la previsión de 10 metros adicionales para la distancia combinada de cables de empate (3 metros) y cables utilizados para conectar equipo en el área de trabajo de telecomunicaciones y el cuarto de telecomunicaciones.

2.3.5.4. TIPOS DE CABLE.

Los tres tipos de cable reconocidos por ANSI/TIA/EIA-568A (ver Tema 2.4, de este capítulo) para distribución horizontal son:

- ↪ Par trenzado, cuatro pares, sin blindaje (UTP) de 100 ohms, 22/24 AWG.
- ↪ Par trenzado, dos pares, con blindaje (STP) de 150 ohms, 22 AWG.
- ↪ Fibra óptica, dos fibras, multimodo 62.5/125 mm.

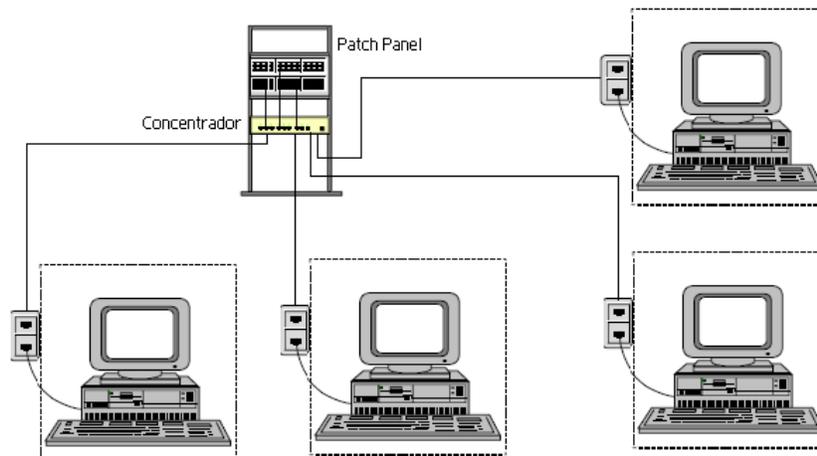


Figura VI.6 Diagrama Cableado Estructurado Horizontal.

2.3.5.5. INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.

A la hora de establecer la ruta del cableado de los closets de alambrado a los nodos es una consideración primordial evitar el paso del cable por los siguientes dispositivos:



- ↪ Motores eléctricos grandes o transformadores (mínimo 1.2 metros).
- ↪ Cables de corriente alterna.
- ↪ Mínimo 13 cm. para cables con 2 KVA o menos.
- ↪ Mínimo 30 cm. para cables de 2 KVA a 5 KV.
- ↪ Mínimo 91 cm. para cables con más de 5 KVA.
- ↪ Luces fluorescentes y balastos (mínimo 12 cm). El ducto debe ir perpendicular a las luces fluorescentes y cables o ductos eléctricos.
- ↪ Intercomunicadores (mínimo 12 cm).
- ↪ Equipo de soldadura.
- ↪ Aires acondicionados, ventiladores, calentadores (mínimo 1.2 metros).
- ↪ Otras fuentes de interferencia electromagnética y de radiofrecuencia.

2.3.6. CUARTO DE ENTRADA DE SERVICIOS.

Consiste en la entrada de los servicios de telecomunicaciones al edificio, incluyendo el punto de entrada a través de la pared y continuando hasta el cuarto o espacio de entrada.

El cuarto de entrada puede incorporar el “backbone” que conecta a otros edificios en situaciones de campus.

Los requerimientos de los cuartos de entrada se especifican en los estándares ANSI/TIA/EIA-568A y ANSI/TIA/EIA-569 (Ver Tema 2.4).

2.3.7. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PUENTEADO.

El sistema de puesta a tierra y puenteado establecido en el estándar ANSI/TIA/EIA-607 (Ver Tema 2.4) es un componente importante de cualquier sistema de cableado estructurado moderno. El sistema de puesta a tierra de telecomunicaciones se debe unir al sistema de puesta a tierra del edificio.

2.3.8. DOCUMENTACIÓN.

La administración del sistema de cableado incluye la documentación de los cables, identificación de paneles de “patcheo”, identificación de equipos de telecomunicaciones alámbricos e inalámbricos y aquellos otros espacios ocupados por los Sistemas de Telecomunicaciones.

La documentación es un componente de gran relevancia para la operación y el mantenimiento de los sistemas de telecomunicaciones.

Resulta importante poder disponer, en todo momento, de la documentación actualizada, y fácilmente actualizable, dada la gran variabilidad de las instalaciones debido a mudanzas, incorporación de nuevos servicios, expansión de los existentes, entre otros.



En particular, es muy importante la documentación (planos) de todos los pisos, en los que se detallen:

- ↪ Ubicación de los gabinetes de telecomunicaciones.
- ↪ Ubicación de ductos a utilizar para cableado vertical.
- ↪ Disposición detallada de los puestos eléctricos en caso de ser requeridos.
- ↪ Ubicación de pisos de productos si existen y pueden ser utilizados.
- ↪ Los cables deben identificarse en sus dos extremos (como mínimo).
- ↪ Las bocas de los puestos de trabajo deben numerarse e identificarse también en los paneles en forma correlativa. Conviene utilizar los iconos en las rosetas (vienen de colores) identificando cuáles son los de datos y cuáles de telefonía. En los paneles se pueden usar etiquetas autoadhesivas.
- ↪ Se aconseja dejar junto a cada distribuidor toda la información posible (croquis de planta con la distribución de los puestos de trabajo, circulación de los tendidos de cables, cajas de paso, croquis del distribuidor con el destino de cada componente, entre otros).

2.4. NORMAS.

Al ser el cableado estructurado un conjunto de cables y conectores, sus componentes, diseño y técnicas de instalación deben de cumplir con una norma que de servicio a cualquier tipo de red local de datos, voz y otros sistemas de comunicaciones, sin la necesidad de recurrir a un único proveedor de equipos y programas.

Un estándar es una marca la cual permite medir cantidad, peso, alcance valor, desempeño o calidad. Los modelos o ejemplos establecidos por la autoridad, costumbre o consentimiento general.

2.4.1. ORGANIZACIONES.

ANSI: Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales. ANSI ha servido en calidad de administrador y coordinador en el sistema de estandarización voluntaria del sector privado de los Estados Unidos durante más de 80 años. El Instituto ha mejorado la competitividad global de los negocios estadounidenses y la calidad de vida en ese país.

CCITT: Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico. Un Comité Consultivo Internacional que establece recomendaciones para comunicaciones internacionales, que frecuentemente son adoptadas como estándares.

CENELEC: Comité Europeo para la estandarización Electrónica. CENELEC promueve la armonización europea; y publica estándares para mercado europeo.



CSA: Asociación Canadiense de Estándares. Una agencia canadiense de pruebas y certificaciones comparable en funciones con la UL (Underwriters Laboratories Inc. Ver Teme 4.2.3 Laboratorio de Pruebas; de este mismo capítulo) y que está fundamentalmente concentrada en la seguridad de los aparatos materiales y componentes en la industria eléctrica.

EIA: Asociación de las Industrias Electrónicas. Organización estadounidense de comercio que se especializa en el desarrollo de estándares para las características eléctricas.

IEEE: Instituto de Ingenieros Electricistas y de Electrónica. Una organización estadounidense para Ingeniería Eléctrica, la más importante autoridad en áreas técnicas que van desde telecomunicaciones hasta el espacio aéreo y la electrónica de consumo.

ISO: Organización Internacional de Estándares. Una organización internacional de estándares, no lucrativa cuya membresía no incluye a organizaciones de estándares de las naciones participantes (ANSI es la representante de los Estados Unidos).

NEMA: Asociación Nacional de Fabricantes de Material Eléctrico. Una asociación estadounidense que estandariza especificaciones para componentes eléctricos, así como para alambres y cables de energía. Los estándares de NEMA son referencia para muchos consumidores al anotar especificaciones para los materiales que ellos adquieren. Los estándares de NEMA generalmente forman las bases de los estándares de ANSI.

TIA: Asociación de la Industria de Telecomunicaciones. Una organización de comercio norteamericana que se especializa en el desarrollo de estándares para cableados de telecomunicaciones y sus estructuras de soporte.

2.4.2. ORGANIZACIONES DE COMERCIO.

BICSI: Servicio Internacional de Consultoría para la Industria de la Construcción. Organización profesional no lucrativa que promueve el económico y eficiente diseño e implementación de los sistemas de distribución de comunicaciones en edificios comerciales y multifamiliares.

2.4.3. LABORATORIOS DE PRUEBAS.

ETL: Laboratorios de Pruebas Eléctricas. ETL brinda pruebas de seguridad y certificación de productos, pruebas EMC, pruebas de desempeño y registro de sistemas de organización de calidad para clientes globales.

UL: Asociación de Aseguradores de los Estados Unidos. Corporación no lucrativa establecida para mantener y operar laboratorios para el examen y prueba de aparatos, sistemas y materiales para determinar su relación con los riesgos a la vida y propiedad.



2.4.4. CÓDIGOS.

FCC: Comisión Federal de Telecomunicaciones. Un consejo de 7 comisionados designados por el Presidente a partir de la Ley de Comunicaciones de 1934, que tienen el poder para regular todos los sistemas de comunicaciones que se originan en los Estados Unidos incluyendo radio, televisión, facsímil, telégrafo, teléfono y sistemas de cable.

NFPA: Asociación Nacional de los Estados Unidos para la protección Contra Incendios, Código Eléctrico Nacional (National Fire Protection Association, National Electrical Code, 1999).

2.4.5. ESTÁNDARES DE CABLEADOS.

El principal objetivo de los estándares de cableado es permitir en los diversos fabricantes las habilidades para construir equipos y componentes que puedan ínter operar en un medio ambiente estándar de construcción de cableado. Los estándares también proporcionan lineamientos para la planeación, diseño e instalación de sistemas de cableado dentro de un edificio. Los estándares de cableado proporcionan:

- ↪ Lineamientos para la planeación, diseño para la instalación de sistemas de cableado en edificios comerciales.
- ↪ Conectividad de sistema abierto.
- ↪ Compatibilidad de retroceso en categorías de más bajo desempeño.
- ↪ Simplifica movimientos, adiciones y cambios.
- ↪ Brinda referencia común del diseño.
- ↪ Asegura la interoperabilidad de proveedor y el desempeño mínimo de transmisión.
- ↪ Permite modificaciones en bases fijas instaladas.
- ↪ Disminuye costos de diseño e instalación.

Los estándares principales de ANSI/TIA/EIA que gobiernan el cableado de telecomunicaciones en edificios son (ver tabla VI.3):

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
ANSI/TIA/EIA-568-B	Alambrado de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales.
ANSI/TIA/EIA-569-A	Rutas y Espacios de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales.
ANSI/TIA/EIA-598-A	Codificación de colores de cableado de Fibra Óptica.
ANSI/TIA/EIA-606	Administración para la Infraestructura de Telecomunicaciones de Edificios Comerciales.
ANSI/TIA/EIA-607	Requerimientos de Puesta a Tierra y Punteado de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales.
ANSI/TIA/EIA-758	Cableado de Planta Externa Pertenciente al Cliente.

Tabla VI.3 Principales estándares de telecomunicaciones en edificios.



La EIA/TIA ha definido los nuevos parámetros a medir para la certificación de un cableado:

- ↪ Tiempo de propagación.
- ↪ Espacio de tiempo de propagación de señales sobre los cuatro pares de un cable (Skew Delay).
- ↪ Paradiafonía Power Sum: Valor de paradiafonía teniendo en cuenta la diafonía generada para el conjunto de pares de un cable. Antes, se caracterizaba un cable por el valor medido entre la peor combinación de pares.

Estos parámetros son muy importantes cuando se evoluciona hacia las redes de alto caudal (100BaseT4, Gigabit Ethernet o ATM) transmitiendo sobre 2, 3 o 4 pares.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UNA RED.

Conforme aumenta el número de usuarios que comparten dispositivos y periféricos en las redes, se efectúa un número mayor de tareas de misión crítica y crece la necesidad de acceso más rápido a la información; es decir, la comunicación se vuelve más compleja, y por lo tanto, se requiere una mejor infraestructura que sea capaz de soportar una amplia variedad de aplicaciones.

Una red local puede iniciarse desde cero, es decir, cuando no se cuenta con ninguna infraestructura de red o se desea eliminar por completo la existente, aunque esta situación cada día es más remota; otra alternativa consiste en planear el crecimiento de una red ya existente, pese a que ambas estrategias tienen mucho en común, es muy importante para aquellas personas que estén pensando actualizar la red actual el considerar el factor de la convivencia, es decir, la nueva tecnología interactuando con los instrumentos tecnológicos en existencia.

En el marco de la modernización propuesta, es necesario desarrollar metodologías orientadas al diseño de una Red de Telecomunicaciones. La metodología propuesta, tiene sus fundamentos a través de la experiencia profesional, así como por técnicas empleadas por los proveedores; es decir, puede considerarse como el resultado de una composición de diversos marcos de referencia y metodologías existentes tanto en la industria como en la academia.

Por lo anterior, los **FACTORES NECESARIOS PARA PLANEAR UNA RED** o bien el proceso de diseño de una red está dividida en las siguientes etapas (ver Figura VI.7).

1. Entendimiento de las Necesidades del Cliente.
2. Diseño de la Red.
3. Prototipo y/o piloto.
4. Implementación Masiva.
5. Operación y Mantenimiento.
6. Monitoreo y Análisis de Rendimiento.



Estas etapas son casi obvias cuando se reflexiona sobre ellas. Por desgracia, en el mundo real la gran mayoría de las redes se diseñan en el orden inverso. Primero se instala la red. Después someramente se estudia el diseño. Y finalmente se intenta definir qué hace falta para que la red funcione bien.

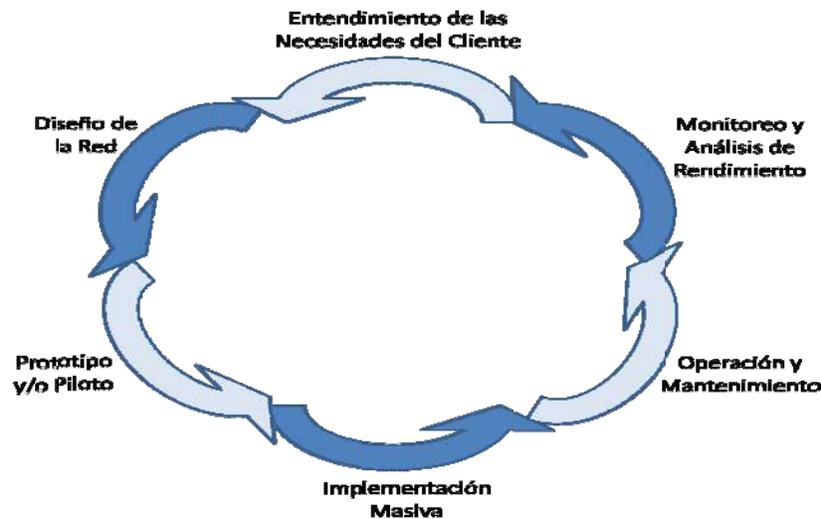


Figura VI.7 Etapas para la implementación de una Red.

3.1. DETERMINAR LAS NECESIDADES DEL CLIENTE.

Determinar las necesidades puede ser el paso más difícil. Reemplazar una red ya existente puede ser mucho más sencillo. Hacer práctico la convivencia entre vieja y nueva tecnología. Si no cuenta con una red que pueda servir como base, lo que se debe saber es qué se necesita la compañía que haga la red con exactitud.

Es indispensable, entender los requerimientos de **negocio** para alinear el diseño de la red para satisfacer las necesidades y requerimientos del cliente. Para ello es necesario:

- ↳ Recabar Datos Administrativos.
 - ↳ Metas de Negocio.
 - ↳ Estructura Corporativa.
 - ↳ Distribución Geográfica.
 - ↳ Políticas.
 - ↳ Presupuesto.

- ↳ Recabar datos Técnicos.
 - ↳ Aplicaciones.
 - ↳ Flujos de Información.
 - ↳ Expectativas de tiempo de respuesta.



El recabar los **Datos Administrativos**, ayudará a determinar las expectativas de los usuarios. Ya que se determinará quienes son los usuarios que requieren más recursos. Se debe tomar en cuenta que muchos usuarios que solicitan recursos y conexiones de alta velocidad, con frecuencia no los necesitan en realidad. Por lo general, los usuarios que podrían obtener los beneficios de una conexión dedicada con gran ancho de banda ni siquiera están conscientes de ello.

Para poder diseñar una red es necesario conocer el presupuesto con el que se cuenta para decidir la tecnología y los productos que mejor resuelvan las necesidades de la empresa. Es indudable que todo tiene que partir de las necesidades de la empresa para saber qué tipo de categoría requiere el cableado, pues dependiendo del software que se tenga serán los requerimientos del cableado. De la misma forma es primordial contemplar el número y tipo de equipos que se conectarán a la red (computadoras, servidores, impresoras, faxes, teléfonos, entre otros).

Seguramente habrá políticas de la empresa y discusiones territoriales y, en este tenor, aprender a convivir con ellas es normal.

Analizando la importancia de lo anteriormente descrito; es indispensable tener una serie de entrevistas con el cliente donde se pueda levantar toda la información necesaria para implementar la futura red. Para que la documentación este al día se debe elaborar minutas y cuestionarios para delimitar el alcance del proyecto.

Siempre existe la posibilidad de omitir pasos e instalar la red sin ninguna planeación, pero en la mayoría de los casos, la red no podrá soportar los requerimientos de la empresa y se creará un efecto de crecimiento desordenado y mal organizado. Con la obtención de los **Datos Técnicos**, se podrá determinar el número de usuarios que utilizarán los recursos de la red, dónde van a estar y qué aplicaciones van a emplear.

El cableado tiene que estar diseñado en función de las aplicaciones que se van a ejecutar, pero lo importante es saber cuál es el ancho de banda que demandarán estas aplicaciones para saber la categoría del sistema de cableado que se vaya a instalar.

En base a los requerimientos tecnológicos de los diferentes usuarios, por ejemplo, áreas de diseño o mercadotecnia donde se utilizan imágenes y archivos de gran tamaño comparado con una persona que utiliza hojas de cálculo la mayor parte del tiempo, se determinará si requieren de un mayor ancho de banda.

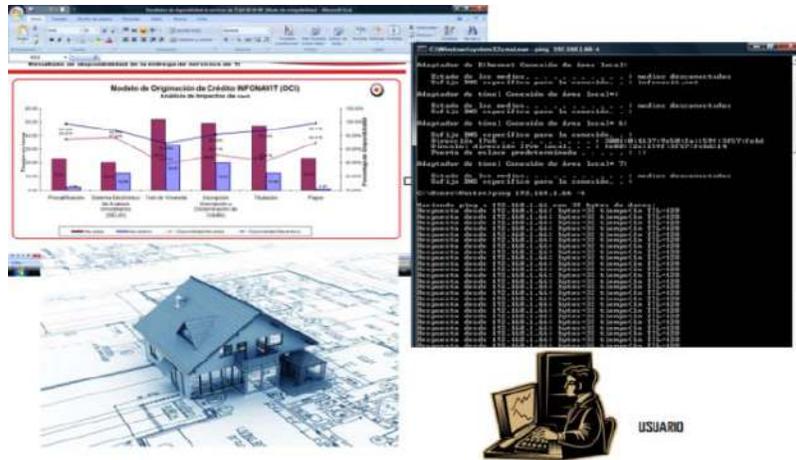


Figura VI.8 Requerimiento de los usuarios de Red.

Respecto al acceso a Internet, cada vez más empresas se ven en la necesidad de que su personal tenga este tipo de acceso; esta situación puede ocasionar problemas severos al funcionamiento de una red local debido a que los patrones de tráfico cambian exponencialmente.

Un sistema de cableado deberá elegirse y diseñarse para ser capaz de manejar diversas aplicaciones de usuario, incluyendo comunicaciones de voz, de datos y redes de área local. Pero no sólo para apoyar las necesidades actuales, sino también para anticiparse a las necesidades del mañana.

Aunque los aspectos financieros tengan impacto en la decisión, se debe tomar en cuenta que los sistemas normalizados están diseñados para durar al menos 15 años a partir de su instalación. Por consiguiente, los regateos tendrán consecuencias en los años venideros.

3.2. DISEÑO DE LA RED.

El objetivo principal es definir el equipo activo y pasivo, mediante un plano arquitectónico, donde se puedan ver cuáles serán las trayectorias de cableado.

Una vez contempladas las consideraciones precedentes, es importante evaluar las diferentes alternativas tecnológicas disponibles en el mercado.

Por ejemplo, Fast Ethernet (100 Mbps) para servidores y equipos de escritorio y Gigabit Ethernet (1 Gbps) para la columna vertebral (Backbone); después de esto, es necesario elegir los diferentes dispositivos (ver figura VI.9) que crearán la red.



Figura VI.9 Dispositivos de Red.

↪ **Nivel y Tipo de Cableado.**

Para implementar el cableado, se debe determinar el medio físico que se utilizará y el tipo de conectores y cables necesarios para interactuar con los dispositivos de red. (Esta decisión depende de la tecnología seleccionada).

↪ **Tarjetas de Red.**

Aunque muchos equipos nuevos ya traen incluida una tarjeta de red; algunos otros no lo traen o es necesario cambiarla por otra tecnología.

↪ **Concentradores.**

El uso de un concentrador o HUB permitirá crear una intranet de manera muy sencilla, permitiendo incorporar múltiples equipos a la red con un esfuerzo mínimo, además de las innumerables ventajas que estas redes ofrecen a la hora de compartir archivos, impresoras y recursos.

↪ **Switches LAN.**

Siendo estos equipos 100% modulares, administrables y configurables 100% al requerimiento de cada una de las necesidades de sus clientes. Con una correcta instalación y configuración de sus equipos de red, la administración permite un ahorro de recursos considerable.

↪ **Ruteadores.**

Especialmente si la organización tendrá una red WAN; de otro modo, puede convenirse con el proveedor de Internet la renta de este tipo de dispositivos.

↪ **Servidores de Acceso Remoto.**

En el caso de que usuarios remotos vayan a tener acceso a la red; otra alternativa sería crear una Red Virtual Privada (VPN) usando internet para acceso remoto.



↪ **Estaciones de Trabajo.**

Equipos que accesan la información y ayudan al procesamiento de la misma. En este caso, es de vital importancia el especificar el procesamiento local es un valor separado del que puede proporcionar una red.

↪ **Periféricos.**

La conexión en red de los equipos periféricos ofrecen varias ventajas: mayor velocidad en la impresión, flexibilidad en la ubicación y facilidad para compartir recursos.

Una vez seleccionados los equipos y dispositivos que crearán la red, es necesario diseñar la arquitectura de la misma, tomando en cuenta los requerimientos de los diferentes usuarios, así como su distribución a lo largo del edificio. Para lo anterior, es necesario crear dos mapas, que a continuación se detallan:

↪ **Distribución Física.**

En este mapa se deben incluir distancias, ubicaciones de equipos, números de roseta (en el panel de parcheo) y puerto (en el concentrador); al hacer este diseño, es indispensable las limitantes físicas de la tecnología seleccionada, como por ejemplo la distancia del cable.

↪ **Distribución Lógica.**

En este mapa se muestra el acceso a los diferentes recursos como servidores, impresoras, aplicaciones, Internet; entre otros. Al realizar este diseño es necesario considerar las limitantes lógicas de la tecnología seleccionada, así como los requerimientos en cuanto a tiempo de respuesta y ancho de banda se tienen en las diferentes áreas, como el número de estaciones por segmento.

Aunque ambos mapas se pueden construir de manera independiente, una vez que se tengan ambos bosquejados, es necesario hacer un análisis para evitar un cuello de botella por una incongruencia entre ellos.

Por ejemplo, si el servidor de mercadotecnia se encuentra en el primer piso y los usuarios de dicha área se hallan en el cuarto piso, es muy probable que ellos necesiten pasar por el switch del backbone para llegar a su servidor, creando así un cuello de botella innecesario que puede evitarse con una reubicación del equipo.

3.3. PROTOTIPO Y/O PILOTO.

Ya se ha hablado de la dificultad de obtener los requerimientos precisos para aplicaciones de redes. Por ello, elaborar primero un prototipo es una opción viable para identificar los inconvenientes y situaciones que se pueden presentar al realizar la implementación. La elaboración de este prototipo está sujeto al tamaño de red o bien que la inversión sea justificable. Como ejemplos se pueden citar:



- ↪ Contar con un Laboratorio.
En este caso, el inconveniente principal es el montar un laboratorio donde se pueden realizar pruebas de comportamiento a escala, que contenga por lo menos 10 equipos, 2 switch, 1 hub, 2 racks, 1 patch panel, canaleta, cable, conectores, antes de realizar la instalación, de esa manera es posible verificar las necesidades reales de los servidores de aplicaciones y evitar problemas posteriores.
- ↪ Instrumentos de Medición.
Es indispensable tener instrumentos que permitan certificar las partes de la red como es el cableado horizontal y vertical.
- ↪ Herramientas de Modelado y Simulación de Redes.
Estos simuladores permiten a los diseñadores o quienes se encargan de la planeación crear un modelo de trabajo con el cual pueden planear o bien actualizar la red. La generación de estos escenarios permite conocer el comportamiento y realizar mediciones del tráfico en la red.

La experiencia nos enseña que el tiempo que se invierte evaluando una aplicación antes de instalarla por completo ahorra tiempo a largo plazo.

Durante la evaluación del prototipo, es conveniente utilizar un analizador de paquetes que pueda reportar el uso del ancho de banda y los errores, así como codificar paquetes.

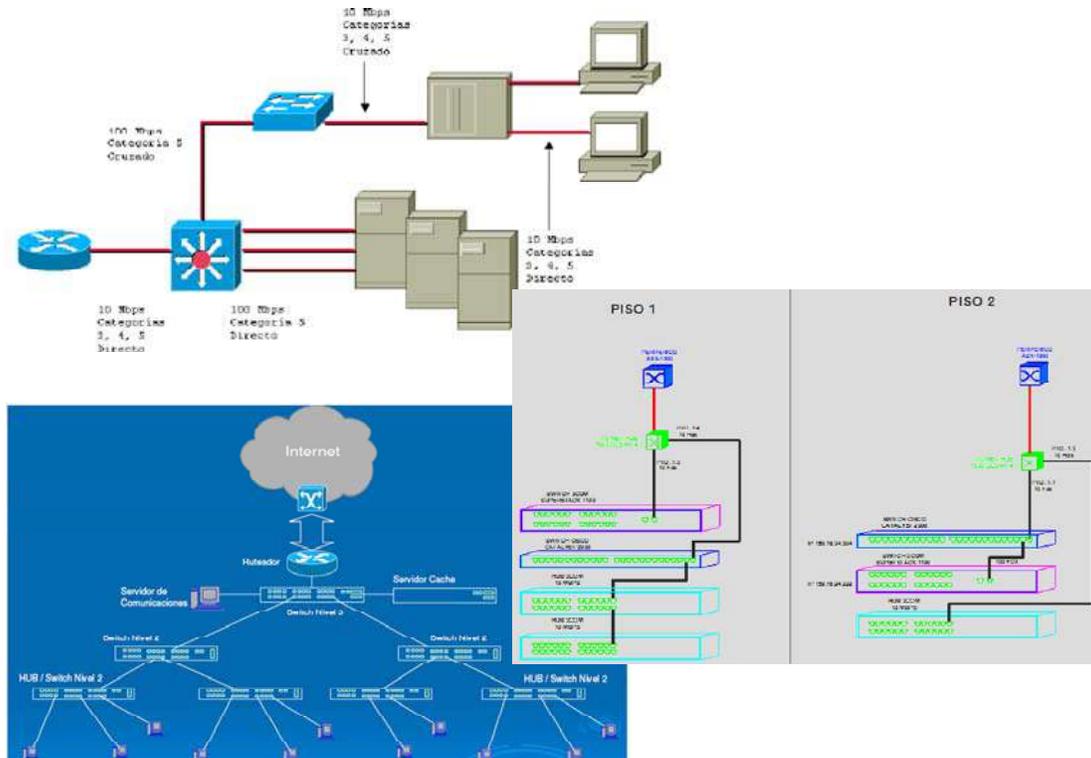


Figura VI.10 Simulación de Redes.



3.4. IMPLEMENTACIÓN MASIVA.

En esta etapa del proceso, se realiza una **réplica** del esquema validado e implementado en la elaboración **del Prototipo**, en toda la red. Realizando con ello la **conexión** de todos los **usuarios** o grupos de trabajo a nivel LAN/Campus.

En el momento de la instalación de la red, se enfatiza el hecho de hacerlo paso por paso, deteniéndose en cada punto para evaluar y verificar cada pieza de la red conforme se vaya instalando.

Esto es porque resulta mucho más sencillo para resolver problemas de la cuando sólo existen un par de dispositivos, que podrían ser la causa del problema. Ya que al instalar y probar pieza por pieza, mientras se verifica el proceso de instalación paso por paso, se simplifica la solución de los problemas.

Es importante y necesario establecer el esquema y las políticas para nombres, direcciones y etiquetas; además de documentar todas las políticas de red, contraseñas y otras cuestiones de seguridad.

Un aspecto muy importante es la documentación, por lo que es primordial llevar un registro de los diferentes pasos. Esta documentación abarca desde que se inició el proceso de planeación hasta el momento en que se ponga en funcionamiento la red, así como mantenerla actualizada cada vez que se realice alguna modificación con el fin de poder identificar cada uno de los componentes, su ubicación y posibilidades de actualización sin perder la funcionalidad de la estructura.

En general los 5 aspectos importantes que debe contener la documentación son:

- ↪ Lista de Requerimientos.
- ↪ Minutas de Reuniones Técnicas.
- ↪ Reportes de Monitoreo de la Red.
- ↪ Diagrama de Red Lógico.
- ↪ Informes completos acerca del material empleado, indicando su estado físico, su ubicación; entre otros.

Una vez terminada la implementación completa de la Red, se debe hacer la entrega de la misma al cliente y a las áreas de Operación (Ver tema 3.5 de este mismo capítulo); así como de la Documentación o Memoria Técnica.

3.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

El primer principio para diseñar una red confiable es esperar lo inesperado. En otras palabras, se debe anticipar cualquier modo de falla posible y establecer las características de diseño ya sea para eliminar o para minimizar el efecto de cualquier falla.



Aún con el equipo bien diseñado e instalado en la red, pueden aparecer problemas. Por ejemplo, todas las opciones y las variables de software deben instalarse correctamente. La configuración de un equipo de operación en red con tecnología moderna resulta difícil, ya que pueden detectarse errores, especialmente en las redes que operan rápidamente.

Por ello, es importante la creación de procesos o pasos a seguir en el caso de detectar diversas fallas en la red: métodos de escalamiento; reporte de fallas a proveedores de productos y servicios.

Además de la implementación de un Help Desk, por medio del cual se pueda:

- ↪ Informar a la organización, teléfonos y procesos a seguir para levantar reportes por fallas.
- ↪ Generar reportes de disponibilidad.
- ↪ Generar reportes de fallas detectadas y atendidas en la red.

Un equipo sólido y bien diseñado, un excelente diseño de red con atención primordial en las necesidades del cliente, así como también un gran entorno físico son factores esenciales, pero los errores producidos por el personal de operaciones, pueden frustrar todos estos factores.

El hecho de buscar y de contratar a un personal con experiencia no constituye una tarea fácil para un proveedor de servicio de redes como si lo es para una gran empresa. Pero aquellas personas con algunas aptitudes y cierta experiencia pueden ser más fáciles de identificar que otras.

El siguiente problema para los gerentes de operaciones es la capacitación del personal. Mantener al personal al día con los cambios en la tecnología y en los requerimientos de las mejores prácticas constituye una tarea desafiante.

3.6. MONITOREO Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO.

Uno de los conceptos más significativos en el Análisis de Disponibilidad de la red; es la contribución del error humano, en el tiempo de inactividad de la red. Pero no representa una dificultad particular, el diagnosticar cuando esto pasa.

El error humano más que un error cuantitativo es un error cualitativo que contribuye al tiempo inactivo de las redes, hay un gran número de ejemplos donde se muestra la contribución del error humano en simples operaciones normales dentro de la red. Por ello se considera que, una compañía que logra minimizar los errores humanos en operaciones estándar es un buen soporte para una alta disponibilidad de la red.

El segundo Factor a considerar en el Análisis de Disponibilidad de la Red, es la contribución del Hardware en las fallas. El tercer factor son los defectos del Sistema causados por el Software.



Estos tres factores en conjunto, son los contribuyentes principales en la no Disponibilidad de la Red. Se calcula que, entre un 40 y 80 %, de la no disponibilidad de la red puede atribuirse a cualquiera de los tres Factores.

Asumiendo que del Análisis de Disponibilidad, se encuentre una falla causada, por uno o más de los tres factores antes mencionados; la parte difícil del Análisis es categorizar las fallas.

- ↪ **Fallas Catastróficas:** Ocurren por ejemplo cuando un ruteador deja de trabajar inesperadamente como resultado de un problema de software y tiene que ser reiniciado para que vuelva a operar. Este tipo de fallas son notables, porque cuando ocurren en las estaciones de la red se alarman los equipos hasta que se vuelve a restablecer el equipo. Este tipo de fallas causan que todo el tráfico a través del ruteador se detenga.
- ↪ **Fallas Parciales:** Son más fáciles de manejar; algunas veces una falla en el sistema del software puede causar ciertos tipos de falla de datos o alentar el tráfico. Usuarios pueden pensar que la red está congestionada, pese a que solamente algunos usuarios están utilizando la red. Esto puede traducirse en pérdidas de productividad.
- ↪ **Interrupciones en el Servicio:** Es posible que una red pueda continuar funcionando a toda velocidad con respecto a la cantidad de datos, pero algunos procesos de control tales como características de seguridad, fallen. Puede provocar que parezca que la red trabaja adecuadamente, pero al haber un corte del servicio, este no registrará en el momento de una falla mayor, imposibilitando saber dónde, cuándo y por quien ocurrió la falla.

Algunos otros factores que afectan a la Disponibilidad de la Red son:

- ↪ La selección de Topología y Protocolos, en la fase de diseño.
- ↪ La pérdida de energía, en las fuentes de poder de los dispositivos.
- ↪ Consideraciones ambientales, como temperatura y humedad.

Se podrían considerar varias situaciones ambientales más, pero dichas podrían considerarse infinitas, por ejemplo: Terremotos, Inundaciones, Actividad Volcánica; entre otros.

Resumiendo, en 3 bloques la metodología propuesta en forma descendente, quedará de la forma siguiente:

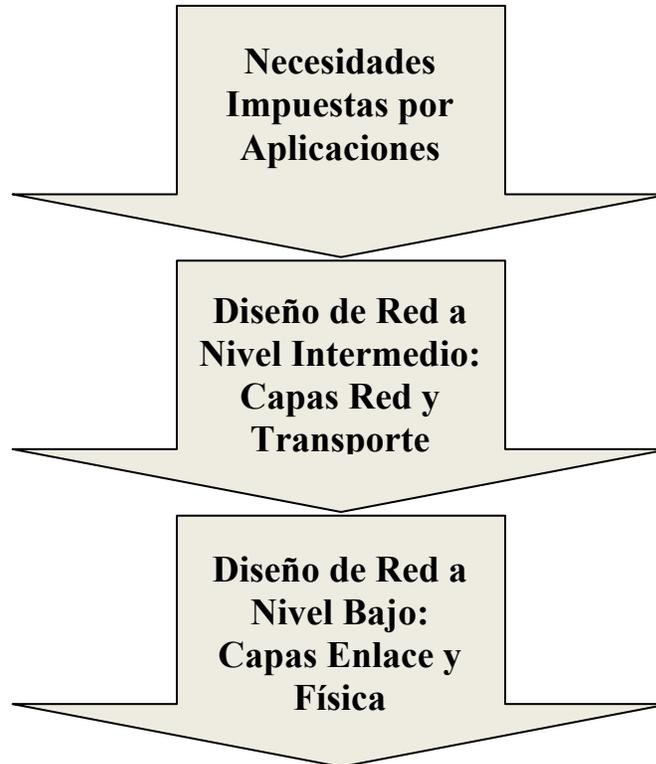


Figura VI.11 Diseño en Forma Descendente.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

La tecnología de conectividad de redes cambia de una manera tan vertiginosa que se convierte en uno de los puntos importantes a considerar al momento de planear y diseñar una red.

Por tal motivo, una de las más importantes cualidades que debe tener un ingeniero al momento de planear y diseñar es su capacidad de visión a futuro basada en los conocimientos teóricos y respaldada por su experiencia en el manejo de redes, sin embargo, es posible con un poco de iniciativa y apoyado por algunos puntos clave en el diseño de redes lograr una buena planeación que incluya la posibilidad de crecimiento a futuro, obviamente si se desea que la planeación sea más exacta se debe conocer la naturaleza de la empresa para la que se diseñará la red, lo que incluye su proyección a futuro, y no está por demás decirlo es necesario saber con cuánto presupuesto se cuenta para desarrollar el proyecto.

Por tanto es necesario saber cuántas estaciones de trabajo se pretenden tener en un inicio y cuántas en uno, dos, o más años; además es necesario conocer que servicios de red se ofrecerán: correo, Internet, servicio de archivo, impresión, bases de datos, acceso remoto, multimedia, entre otros.



Con base a la experiencia práctica y teórica se ha decidido exponer en este trabajo, el presente tema: **Implementación de la Metodología**, una vez que ya han indicado los principales elementos y conceptos de red.

“ **Esta Metodología no pretende ser exhaustiva ni tampoco el modelo único a seguir** ya que, el tema de las Telecomunicaciones y de las redes de datos, es bastante amplio y difícilmente cualquier texto que se tome puede comprender en su totalidad, **pero sí se pretende de manera general tratar de indicar los puntos clave, los básicos**, aquellos que permitan entender, guiar, y dar apoyo **para el diseño básico de una red**, perfectamente operable y con las características de escalabilidad y rendimiento así como de costo que se necesite ”.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA RED EXISTENTE.

4.1.1. OBJETIVOS.

- ↪ Identificar todos los datos que se deben de reunir para caracterizar una red existente.
- ↪ Documentar las aplicaciones, protocolos, topología y número de usuarios.
- ↪ Documentar los negocios en cuestión que son relevantes para el proyecto de diseño de red.
- ↪ Evaluar la salud de la red existente y realizar las conclusiones acerca del futuro crecimiento.

4.1.2. CARACTERIZANDO LA RED.

Para caracterizar la red es necesario identificar cualquier cuello de botella, determinar si el anticipado crecimiento de la red causará algún problema, reconocer sistemas legados que deben ser incorporados en el nuevo diseño y reconocer negocios en cuestión que son relevantes para el proyecto de diseño de red (los negocios en cuestión son negocios relacionados con el diseño de la red que pueden ser una limitación).

4.1.2.1. OBTENCIÓN DE DATOS ADMINISTRATIVOS.

Los datos administrativos ayudan a determinar los objetivos de los negocios de la compañía, estructura corporativa, estructura geográfica, personal actual y futuro, y las políticas que pueden afectar el diseño de la red:

- ↪ **Objetivos de los negocios:** Determinar los objetivos de los negocios mayores de la compañía para el siguiente año, y los siguientes cinco años. Esta información es importante para diseñar una red que provea la escalabilidad requerida. Investigar la industria del cliente y la competencia. Con el conocimiento de los negocios del cliente es posible proporcionar una mejor solución para las necesidades que requiere el usuario.



- ↪ **Estructura corporativa:** El diseño final de la red usualmente refleja la estructura corporativa, así que es muy importante ser proactivos para ayudar a entender la estructura corporativa.
- ↪ **Estructura geográfica:** Hay que localizar las comunidades mayores del usuario.
- ↪ **Personal actual y futuro:** Realizar las siguientes preguntas:
 - ☞ ¿Cuánta especialización interna de la red hay?
 - ☞ ¿La compañía planea extender al personal que es requerido para apoyar el nuevo diseño de red?
 - ☞ ¿Quién ayudará a diseñar la red?
 - ☞ ¿El nuevo diseño causará cambios en las funciones de trabajo o posiblemente eliminará trabajos?
- ↪ **Políticas:** Sucesos pasados o fallas pueden ayudar a determinar áreas de problemas para el diseño de red. Formular las siguientes preguntas ayuda a identificar estos sucesos:
 - ☞ ¿Un nuevo diseño ha sido probado antes y ha fallado?
 - ☞ ¿A quién le pertenece el diseño?
 - ☞ ¿Hay gente en el proyecto que no quiere realizar cambios?

4.1.2.2. OBTENCIÓN DE DATOS TÉCNICOS.

Los datos técnicos ayudarán a entender las aplicaciones actuales y las planeadas a futuro, así como protocolos actuales, interconexión de dispositivos y como impactan los cuellos de botella en el desempeño de la red.

- ↪ **Aplicaciones:** Identificar las aplicaciones actuales y planes para aplicaciones futuras.
- ↪ **Datos Compartidos:** Hay que determinar donde residen los datos compartidos y quién los usa.
- ↪ **Tráfico de la Red y Acceso:** Determinar cuánto tráfico fluye de un segmento de red a otro. Determinar si datos fuera de la organización, como el Internet, son consultados.
- ↪ **Las Características de Desempeño de la Red:** Es importante entender el desempeño de las características de la red. Documentar cualquier problema, especialmente si estos continuaran existiendo aún después de que el nuevo diseño sea implantado.

Realizar un análisis “Baseline” del desempeño de la interconexión existente. Si la interconexión es muy grande para realizar el baseline, se deberá analizar los backbones y segmentos críticos de la red.



4.1.2.3. HERRAMIENTAS PARA CARACTERIZAR UNA RED.

Si la persona que realiza esta caracterización no está familiarizada con herramientas para caracterizar la red, es recomendable buscar los sitios Web de los fabricantes para obtener más información. En seguida se describen solo algunas de las muchas herramientas disponibles que son útiles para realizar la caracterización de la red:

- ↪ Estadísticas de las interfaces.
- ↪ Tamaño de la tabla de enrutamiento.
- ↪ Contabilidad de paquetes.
- ↪ RMON (Remote Monitoring).
- ↪ SNMP (Simple Network Management Protocol).
- ↪ Analizadores de Protocolos.
- ↪ Sniffers.

Los analizadores de protocolos capturan y analizan el tráfico en la red, proveen estadísticas y análisis de protocolos. Algunos analizadores, incluyen inteligencia artificial para simplificar y reforzar la administración del desempeño de la red.

4.1.3. CARACTERIZANDO UNA RED.

Esta sección provee una metodología estructurada que debe seguirse para caracterizar la red. Los procedimientos, tablas, y checklist ayudan a determinar las necesidades de la interconexión para diseñar una solución escalable.

El siguiente paso del diseño para investigar el estado de la red, es obtener una caracterización de la red que se puede obtener con los siguientes pasos:

4.1.3.1. PASO 1: CARACTERIZANDO LAS APLICACIONES.

La siguiente tabla es útil para caracterizar las aplicaciones. Las instrucciones para usar la tabla, son como sigue:

- ↪ En el campo “Nombre de la Aplicación” se debe ingresar el nombre de cada aplicación que es ejecutada en la red.
- ↪ En el campo “Tipo de Aplicación” se debe ingresar la información que ayudará a caracterizar la aplicación, por ejemplo: bases de datos, multimedia, correo electrónico, streaming, VoIP, videoconferencia, e-learning, aplicaciones on-demand, sistemas de manufactura, y así sucesivamente.
- ↪ En el campo “Número de Usuarios”, se debe ingresar el número de usuarios que accesan a cada aplicación.
- ↪ En el campo “Número de Hosts o Servidores”, se debe ingresar el número de hosts o servidores que provee cada aplicación.



- ↪ En el campo “Comentarios”, se debe agregar cualquier comentario relevante para el diseño de la red. Por ejemplo, agregar cualquier escalabilidad involucrada. Incluir cualquier información que tenga acerca de las direcciones corporativas, como planes para migrar a una aplicación.

	Nombre de Aplicación	Tipo de Aplicación	Número de Usuarios	Número de Hosts o Servidores	Comentarios
1					
2					
3					
4					
5					

Tabla VI.4 Resumen de Aplicaciones.

4.1.3.2. PASO 2: CARACTERIZANDO LOS PROTOCOLOS.

La siguiente tabla permite caracterizar los protocolos de la red. Las instrucciones para usar la tabla, son como sigue:

- ↪ En el campo “Nombre de Protocolo”, se debe ingresar el nombre de cada protocolo en la red.
- ↪ En el campo “Tipo de Protocolo”, se debe ingresar algún texto que facilite a identificar el protocolo, por ejemplo, protocolo capa-sesión, cliente/servidor y así sucesivamente.
- ↪ En el campo “Nombre de Usuario”, se debe ingresar el número de usuarios que utiliza cada protocolo.
- ↪ En el campo “Número de Hosts o Servidores”, se debe ingresar el número de servidores que usa cada protocolo.
- ↪ En el campo “Comentarios”, se debe ingresar cualquier comentario relevante para el diseño de la red. Por ejemplo, agregar cualquier escalabilidad involucrada. Incluir cualquier información acerca de las direcciones corporativas, como planes para migrar a un protocolo.

	Nombre de Protocolo	Tipo de Protocolo	Número de Usuarios	Número de Hosts o Servidores	Comentarios
1					
2					
3					
4					
5					

Tabla VI.5 Resumen de Protocolos.



4.1.3.3. PASO 3: DOCUMENTANDO LA RED ACTUAL.

Dispositivos y Topología de Red. Realizar el diagrama de la topología de red (u obtener un dibujo de la red actual proporcionado por el administrador de red). Se debe incluir el tipo y velocidad de cada segmento o enlace. También hay que incluir los nombres y direcciones de la interconexión de dispositivos y servidores.

Esquema de Direccionamiento. Documentar el esquema de direccionamiento usado en el diseño de red actual. El direccionamiento actual puede impactar para modificar la estructura de la red. Por ejemplo, la máscara de una subred IP actual puede limitar el número de hosts en un LAN o en una VLAN.

Relaciones Acerca de la Red. Documentar cualquier relación que haya acerca de la topología actual y cualquier información adicional acerca de la arquitectura de la interconexión que no pueda ser obvia por el diagrama de la topología. Es importante caracterizar la arquitectura de red en conjunto para ayudar a entender los patrones de flujo de datos.

4.1.3.4. PASO 4: IDENTIFICAR LOS CUELLOS DE BOTELLA POTENCIALES.

Para identificar los cuellos de botella potenciales, se debe utilizar un Analizador de Protocolos. Con ello se podrá determinar cuánto tráfico de la red en cada segmento no es local. Se debe especificar cuánto tráfico atraviesa a diferentes segmentos de red, cuánto tráfico llega de otros segmentos de redes y cuánto es el tráfico que pasa a través de un segmento de red.

	Origen y Destino son Locales	Origen Local y Destino no Local	Origen no Local y Destino Local	Origen y Destino no Locales
Segmento 1				
Segmento 2				
Segmento 3				
Segmento 4				
Segmento 5				

Tabla VI.6 Caracterización de Tráfico.

Caracterizando el Tráfico que no es Local. En la tabla VI.6 se puede registrar los datos obtenidos, para caracterizar cuánto tráfico en cada segmento de red no es Local. El uso de la tabla VI.6, se describe a continuación:

- ↪ En el campo “Origen y Destino son Locales”, ingresar el porcentaje de tráfico en el segmento analizado.
- ↪ En el campo “Origen Local y Destino no Local”, ingresar el porcentaje de tráfico en el segmento analizado.
- ↪ En el campo “Origen no Local y Destino Local”, ingresar el porcentaje de tráfico en el segmento analizado.
- ↪ En el campo “Origen y Destino no Locales”, ingresar el porcentaje de tráfico en el segmento analizado.



4.1.3.5. PASO 5: IDENTIFICAR LAS LIMITANTES DEL NEGOCIO Y ENTRADAS EN EL DISEÑO DE LA RED.

Después de hablar con el administrador, hay que verificar que tantos de los elementos de la lista ya has identificado.

- ↪ Se ha entendido la estructura corporativa.
- ↪ Se ha analizado el flujo de la información de la empresa.
- ↪ El administrador, tiene identificado operaciones o datos de misión crítica.
- ↪ El administrador, ha explicado cualquier política con respecto a protocolos o plataformas.
- ↪ El administrador, ha explicado cualquier política con respecto a soluciones abiertas versus propietarias.
- ↪ El administrador, ha explicado cualquier política con respecto a la autoridad de distribución para el diseño e implantación de la red.
- ↪ Existe una buena comprensión de la especialización técnica de los usuarios.
- ↪ Se ha investigado la industria del cliente y la competencia.
- ↪ El administrador, ha explicado cualquier política con respecto.
- ↪ Existe una conciencia de cualquier política que pueda afectar el desempeño de la red.

En general, se debe documentar cualquier cosa concerniente a las limitantes de negocio del cliente.

4.1.3.6. PASO 6: CARACTERIZAR LA DISPONIBILIDAD DE LA RED EXISTENTE.

Obtener estadísticas del tiempo que la red queda fuera de servicio y las fallas que se presenten en los diferentes segmentos que existan en la red. Si algunos segmentos son más vulnerables a fallar, documentar esos segmentos por separado. Obtener de los usuarios, el costo del tiempo que la red está fuera de servicio, obteniendo la información con las siguientes preguntas:

- ↪ ¿Cuál es el costo por hora que genera por departamento que la red quede fuera de servicio?
- ↪ ¿Cuál es el costo por hora que genera para la empresa que la red quede fuera de servicio?

Utilizar la siguiente tabla para determinar las fallas de transmisión para cada segmento de red y de interconexión. Las siguientes instrucciones indican el uso de la tabla VI.7:

- ↪ En el campo “Falla de Transmisión”, ingresar el número de fallas para cada segmento en los últimos 30 años.
- ↪ En el campo “Tiempo de la Última Caída de Red”, ingresar la fecha en la cual los usuarios experimentaron la última caída del servicio de red.



- ↪ En el campo “Duración de la Última Caída de Red”, ingresar cuanto tiempo duró la última caída.
- ↪ En el campo “Causa de la Última Caída de Red”, ingresar la causa (si se conoce) de la última caída en cada segmento.

	Falla de Transmisión	Tiempo de la última caída de la Red	Duración de la última caída de la Red	Causa de la última caída de la Red
Segmento 1				
Segmento 2				
Segmento 3				
Segmento 4				
Segmento 5				

Tabla VI.7 Disponibilidad de la Red.

4.1.3.7. PASO 7: CARACTERIZAR EL DESEMPEÑO DE LA RED.

En la siguiente tabla, se deben documentar los resultados de cualquier medida de tiempo/desempeño de respuesta obtenido para cada host en la red:

	Host A	Host B	Host C	Host D
Host A				
Host B				
Host C				
Host D				

Tabla VI.8 Medida de Tiempo/Desempeño de Respuesta.

4.1.3.8. PASO 8: CARACTERIZAR LA UTILIZACIÓN DE LA RED.

La herramienta de monitoreo, se debe configurar para obtener un promedio de las estadísticas de utilización de la red una vez cada hora; para determinar cuando son las horas pico. Si la red está saturada (sobre utilizada), se debe monitorear la utilización de la red cada minuto. Los picos sobre el 40% que se presenten durante los últimos minutos causan una notable degradación en el desempeño de la red.

Caracterizar cuánto ancho de banda utiliza cada segmento de red por los diferentes protocolos, completando la tabla VI.9. Muchas herramientas de monitoreo permiten especificar el ancho de banda usado por los diferentes protocolos, como ancho de banda absoluto o ancho de banda relativo.

Utilizar las siguientes instrucciones para el llenado de la tabla:



- ↪ En el campo “Utilización de Red Relativa”, ingresar la cantidad del ancho de banda usado por cada protocolo, en comparación con el ancho de banda total usado en ese segmento.
- ↪ En el campo “Utilización de Red Absoluta”, ingresar la cantidad del ancho de banda usado por cada protocolo, en comparación con la capacidad total del segmento; por ejemplo, en comparación con 100 Mbps en Fast Ethernet.
- ↪ En el campo “Promedio del Tamaño de Trama”, ingresar el promedio del tamaño de trama para cada protocolo.
- ↪ En el campo “Tasa de Broadcast/Multicast” ingresar la tasa de broadcast/multicast para cada protocolo.

	Utilización de la Red Relativa	Utilización de Red Absoluta	Promedio del Tamaño de Trama	Tasa de Broadcast/Multicast
IP				
IPX				
Apple Talk				
NetBIOS				
SNA				

Tabla VI.9 Utilización de Red.

4.1.3.9. PASO 9: CARACTERIZAR LAS HERRAMIENTAS Y SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA RED EXISTENTE.

Listar el tipo de plataformas y herramientas de administración de la red que se encuentren en uso. Si están disponibles, obtenga ejemplos recientes de reportes diarios, reportes semanales y reportes mensuales.

4.2. OBTENIENDO LAS NUEVAS NECESIDADES.

4.2.1. OBJETIVOS.

- ↪ Determinar las necesidades del usuario para nuevas aplicaciones, protocolos, número de usuarios, uso en horas pico, y la administración de la red.
- ↪ Realizar el diagrama de flujo de la información para las nuevas aplicaciones.
- ↪ Aislar los criterios del usuario para aceptar el desempeño de la red.
- ↪ Listar algunas herramientas que ayudarán a caracterizar el nuevo tráfico en la red.
- ↪ Predecir la cantidad y el tipo de tráfico causado por las aplicaciones, basado en el tráfico típico de la red.



4.2.2. DETERMINAR LAS NUEVAS NECESIDADES DE LOS USUARIOS DE LA RED.

Determinar las necesidades de los usuarios para un nuevo diseño de red, es una de las más importantes tareas en el diseño de la red. Esta sección provee paso por paso una guía para determinar esos requerimientos. Este camino asegurará el diseño de la red específicamente conociendo las necesidades de los usuarios. Para ello es necesario, hacer una descripción de las ideas o hechos más importantes en el sitio donde se encuentren los usuarios.

4.2.2.1. PASO 1: IDENTIFICAR LAS LIMITANTES DEL NEGOCIO.

- ↪ Documentar el plan que muestre el presupuesto y los recursos que la empresa u organización estén dispuestos a gastar para el proyecto.
- ↪ Documentar la línea del tiempo del proyecto, por ejemplo, un diagrama de Gantt.
- ↪ Identificar cualquier requerimiento del personal responsable de administrar y operar la red, como entrenamiento o contrataciones.

4.2.2.2. PASO 2: IDENTIFICAR LOS REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD.

- ↪ Juzgar los riesgos de seguridad y determinar cuanta seguridad será necesaria y de qué tipo.
- ↪ Determinar los requerimientos de acceso de datos para usuarios no autorizados.
- ↪ Determinar los requerimientos de autorización y autenticación para sucursales, usuarios móviles y usuarios remotos.
- ↪ Identificar cualquier requerimiento para autenticar rutas recibidas por enrutadores de acceso u otros enrutadores.
- ↪ Identificar cualquier requerimiento para la seguridad de hosts como seguridad física de los hosts, cuentas de usuarios, registro de software, los derechos de acceso a los datos, y así sucesivamente.

4.2.2.3. PASO 3: IDENTIFICAR LOS REQUERIMIENTOS DE ADMINISTRACIÓN.

- ↪ Identificar los requerimientos generales para la administración de la red.
- ↪ Identificar los requerimientos para la configuración de la administración de la red.
- ↪ Identificar los requerimientos para medir el desempeño del proceso de administración de la red.
- ↪ Identificar los requerimientos para la seguridad de la administración de la red.



4.2.2.4. PASO 4: OBTENER LOS REQUERIMIENTOS DE APLICACIONES.

- ↪ Documentar los nombres y tipos de nuevas aplicaciones.
- ↪ Documentar los nombres y tipos de nuevos protocolos.
- ↪ Documentar el número de usuarios quienes usarán nuevas aplicaciones y protocolos.
- ↪ Realizar el diagrama del flujo de información cuando se introducen nuevas aplicaciones.
- ↪ Identificar las horas pico del uso de nuevas aplicaciones.

4.2.2.5. PASO 5: CARACTERIZAR EL NUEVO TRÁFICO DE RED.

- ↪ Caracterizar la Carga del Tráfico.
- ↪ Caracterizar el Tráfico Incluyendo:
 - ↪ Broadcast/Multicast.
 - ↪ Windowing y control de flujo.
 - ↪ Mecanismos de recuperación de errores.
 - ↪ Tamaños de trama soportados.

4.2.2.6. PASO 6: IDENTIFICAR LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

- ↪ **Tiempo de Respuesta:** La cantidad de tiempo para recibir una respuesta para una petición de servicio por el sistema de red.
- ↪ **La Exactitud:** El porcentaje de tráfico útil que se transmite correctamente en el sistema, relativamente al tráfico total, incluyendo la transmisión de errores.
- ↪ **Disponibilidad:** Cantidad de tiempo en el que está operando la red.
- ↪ **Máxima utilización de Red:** Máximo porcentaje de la capacidad total (ancho de banda) de un segmento de red que puede ser usado antes de que la red se considere “saturada”.
- ↪ **Throughput (Rendimiento):** Calidad de los datos transmitidos correctamente entre nodos por unidad de tiempo, usualmente en segundos.
- ↪ **Eficiencia:** Es el proceso de medición de cuánto esfuerzo se requiere para producir una cierta cantidad de throughput de datos.
- ↪ **Latencia (o retardo):** Tiempo entre una trama lista para la transmisión de un nodo y la realización de la trama de la transmisión exitosa.

Una vez caracterizada la red y habiendo extraído todos los requerimientos, se debe elaborar un documento que especifique las necesidades de los usuarios. El documento de necesidades deberá resumir los datos recolectados. El documento se puede usar para establecer consensos con los usuarios acerca de sus necesidades.

4.3. DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA DE RED.

Todo diseño de topología está basado en el modelo de referencia OSI, ya que ahí tenemos la Capa de Red. Existen diferentes tipos de modelos para el diseño de la topología, y la selección estará determinada por las necesidades de los usuarios de la red, el costo y la disponibilidad.



4.4. PROVISIÓN DE HARDWARE Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN LAN.

4.4.1. OBJETIVOS.

- ↪ Reconocer la escalabilidad de las limitantes y problemas para una tecnología LAN estándar.
- ↪ Seleccionar la tecnología LAN que cubra las necesidades de desempeño, capacidad y escalabilidad de los usuarios de la red.
- ↪ Identificar cómo revisar un diagrama de topología de red de alto nivel, para incluir hardware y medios de comunicación.

4.4.2. RESOLVIENDO PROBLEMAS CON LA INTERCONEXIÓN.

La decisión para usar un dispositivo de interconexión depende de que problemas se estén tratando de resolver. Los problemas existentes en una red pueden ser clasificados como sigue:

Problemas de Medios

Los problemas de medios son referidos a un excesivo número de colisiones en Ethernet. Los problemas de medios son causados por muchos dispositivos, todos con una alta carga para el segmento de red. Los problemas de medios pueden ser resueltos dividiendo una red en segmentos más pequeños utilizando VLANs.

Problemas de Protocolos

Los problemas de protocolos son causados por protocolos que no son bien escalados, por ejemplo, protocolos que envían un excesivo número de broadcast. Los problemas de protocolos pueden ser resueltos dividiendo una red en segmentos usando enrutadores o creando VLANs por protocolo.

Necesidad para Transportar Payloads más Grandes

Esta categoría incluye la necesidad para ofrecer servicios de voz y video a través de la red. Esos servicios requieren mucho más ancho de banda que la que está disponible, seguramente, en la red actual. Los problemas de transporte pueden ser solucionados utilizando una tecnología con alto ancho de banda, como Gigabit Ethernet.

4.5. DISEÑO DEL MODELO DE NOMBRES Y EL MODELO DE DIRECCIONAMIENTO DE RED.

4.5.1. OBJETIVOS.

- ↪ Identificar los pasos o procesos requeridos para diseñar un modelo de direccionamiento de red.
- ↪ Proponer un modelo de direccionamiento para redes, subredes y hosts que proveen escalabilidad.
- ↪ Proponer un esquema de nombres para servidores, enrutadores y hosts.



“Es importante señalar que el Tema de Nombres y Direccionamiento de Red, es bastante amplio; pero que no es objeto de estudio de este trabajo. Por ello, solo se describen algunos pasos importantes”.

4.5.2. MODELO DE DIRECCIONAMIENTO.

Diseñar el modelo de direccionamiento de red y el modelo de nombres, es una de las tareas más importantes en el diseño de interconexión. Esto es posible realizarlo con la selección de un protocolo de enrutamiento.

Para diseñar un modelo de direccionamiento de red y el modelo de nombres, son recomendables los siguientes pasos:

Paso 1. Diseñar una jerarquía para el direccionamiento de sistemas autónomos, áreas, redes, subredes y hosts.

Paso 2. Diseñar la sumarización de rutas (agregación).

Paso 3. Diseñar un plan para distribuir la autoridad administrativa para el direccionamiento y el modelo de nombres a los más bajos niveles de jerarquía.

Paso 4. Diseñar un método para el mapeo de locaciones geográficas para el número de redes.

Paso 5. Desarrollar un plan para identificar hosts especiales, como enrutadores y servidores con específicos identificadores de nodos (node IDs).

Paso 6. Desarrollar un plan para configurar el direccionamiento de red en hosts de usuarios finales, se puede elegir entre el direccionamiento dinámico o estático. Sin embargo, cabe señalar que si utiliza direccionamiento dinámico será necesario utilizar algún método de autenticación a nivel de acceso para evitar usuarios no autorizados en la red.

Paso 7. También se recomienda desarrollar un plan para el uso de gateways para mapear el direccionamiento privado a direccionamiento público:

☞ NAT (Network Address Translation) es usado con el siguiente direccionamiento como lo especifica el RFC 1918:

10.0.0.0 a 10.255.255.255
172.16.0.0 a 172.31.255.255
192.168.0.0 a 192.168.255.255

Paso 8. Diseñar un esquema para los nombres de los servidores, enrutadores y hosts de usuarios finales:



- ☞ Los nombres deben tener un significado para facilitar el troubleshooting (diagnóstico y solución de un problema); por ejemplo, para los nombres de Servidores:

091402WB61

Donde:

09 = Número de la Entidad (Distrito Federal)

14 = Número de Delegación.

02 = Número de Edificio.

WB = Tipo de Servicio (Web).

61 = ID.

- ☞ Para nombres de dispositivos en ambientes IP, instale y configure un servidor de DNS (Domain Name System) (Sistema de Nombre de Dominio).

4.6. SELECCIONANDO UNA ESTRATEGIA DE ADMINISTRACIÓN DE RED.

4.6.1. OBJETIVOS.

- ☞ Recomendar protocolos que reúnen los requisitos para la administración de una red.
- ☞ Describir los pasos que deben tomarse para desarrollar una estrategia de administración de red.

4.6.2. LAS METAS DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED.

Como las interconexiones de redes crecen en alcance y complejidad, las capacidades de administración de red robustas se convierten cada vez más importantes. Muchas organizaciones requieren un ancho rango de funciones de administración de red para ayudarse a maximizar la disponibilidad de aplicaciones críticas y minimizar el sobre costo de la propiedad. En general, muchas organizaciones tienen las siguientes metas para los productos de administración de sus redes y estrategias:

- ☞ Conectividad.
- ☞ Seguridad.
- ☞ Optimización de costos.
- ☞ Crecimiento manejable.

4.6.3. PROCESOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE RED.

Aunque las metas para la administración de la red pueden ser simplemente declaradas, entender todas las tareas requeridas para conocer las metas es difícil. Las tareas de administración de red pueden ser divididas en tres áreas principales:



- ↪ Monitoreo y diagnóstico.
- ↪ Diseño y optimización.
- ↪ Implantación y cambios.

Monitoreo y Diagnóstico	Diseño y Optimización	Implantación y Cambios
Definir umbrales	Colección de datos	Instalación
Excepciones de monitoreo	Creación <i>baseline</i> (línea base)	Configuración
Aislar problemas	Tendencia de análisis	Administración del direccionamiento
Validar problemas	El análisis del tiempo de respuesta	Agregar, mover, cambios
Solución de problemas (Troubleshooting)	Planeación de capacidades	Administración de la seguridad
Desviación de problemas	Procuración	Administrador del proyecto (Project Manager)
	Diseño de topología	Administración de inventario y recursos
		Administración de usuarios
		Administración de datos

Tabla VI.10 Procesos para la administración de Red.

4.6.4. ADMINISTRACIÓN PROACTIVA DE RED.

Muchas administraciones de red son reactivas, aunque la industria se está moviendo hacia un acercamiento proactivo para la administración de las redes. Muchos vendedores de equipo de redes de datos se han estado animando a una administración proactiva de la red por años, debido a la reducción del personal operativo y la falta de capacitación al personal existente en las empresas, profesionales de las redes han requerido disponer de su tiempo para implantar cambios y solucionar problemas. Sin embargo, las empresas reconocen la importancia de la estrategia de la interconexión de sus redes, más énfasis está siendo puesto en la administración de red proactiva.

La administración proactiva de una red significa el monitoreo de la red incluso cuando ésta no tenga ningún problema. Esto significa:

- ↪ Colección de estadísticas y tendencias de monitoreo.
- ↪ Pruebas rutinarias controladas, como las medidas de tiempo de respuesta.
- ↪ El tiempo asignado por lo menos una vez al mes para concentrar las estadísticas y realizar un informe básico que describe el estado actual de la red.
- ↪ Definiendo las metas de servicio para la red, por ejemplo, aceptable tiempo fuera de servicio, tiempo de respuesta, throughput, facilidad de uso y escalabilidad.
- ↪ Realizar reportes de la calidad de servicio que ha sido entregada en el último mes.



4.6.4.1. DESARROLLANDO ESTRATEGIAS DE ADMINISTRACIÓN PROACTIVA DE RED.

Para ayudar a desarrollar una estrategia de administración proactiva de la red sigue los pasos siguientes:

- ↩ Determinar las metas de los servicios de red.
- ↩ Definir métricas para medir si se han alcanzado las metas.
- ↩ Definir procesos para la colección de datos y reporte.
- ↩ Implantar sistemas de administración de red.
- ↩ Coleccionar datos de desempeño y tendencias de los registros acumulados.
- ↩ Analizar los resultados y generar reportes.
- ↩ Ubicar irregularidades y cuellos de botella en la red.
- ↩ Planear e implantar mejoras en la red.
- ↩ Revisar y ajustar métricas y procesos si es necesario.
- ↩ Controlar y documentar los cambios.

4.6.5. MONITOREO REMOTO.

La norma SNMP (Simple Network Management Protocol, Protocolo de Administración de Red Simple), describe a Remote Monitoring (RMON), como un agente que permite monitorear paquetes y patrones de tráfico en segmentos LAN.

- ↩ Número de paquetes.
- ↩ Tamaño de paquetes.
- ↩ Broadcast.
- ↩ Utilización de red.
- ↩ Errores y condiciones como colisiones en Ethernet.
- ↩ Estadísticas para hosts, incluyendo generación de errores por hosts, el host más ocupado, y que hosts hablan con que hosts.

Las características de RMON incluyen vistas históricas de estadísticas, basadas en intervalos de muestreo de usuarios definidos, alarmas basadas en umbrales de usuarios definidos, y captura de paquetes basadas en filtros de usuarios definidos.

RMON es definido como una porción de MIB II (Management Information Data Base, Base de Datos de la Información de Administración). El RFC 1757 define los objetos para una administración remota de dispositivos de red.

La especificación RMON comprende nueve grupos de administración de objetos. Los agentes de RMON pueden implantar algunos o todos los siguientes grupos:

- ↩ Estadísticas.
- ↩ Historial.



- ↪ Alarmas.
- ↪ Hosts.
- ↪ Top “n” de hosts.
- ↪ Matriz de tráfico.
- ↪ Filtros.
- ↪ Captura de paquetes.
- ↪ Eventos.

4.7. DOCUMENTO DE DISEÑO.

4.7.1. OBJETIVO.

Escribir un documento de diseño o una respuesta al requerimiento de diseño.

4.7.2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO DE DISEÑO.

La sección de requerimiento de diseño resume las conclusiones como resultado de identificar las necesidades en una red. Debe incluir:

- ↪ Caracterización de la red existente, incluyendo:
 - ☞ Descripción de la red existente, incluyendo un diagrama de la topología.
 - ☞ Aplicaciones actuales, protocolos, topología, y el número de usuarios.
 - ☞ Problemas relevantes de negocio para el proyecto de diseño de la red.
- ↪ Requerimientos del usuario:
 - ☞ Requerimientos para el desempeño, seguridad, capacidad, y escalabilidad para soportar nuevas aplicaciones.
 - ☞ Flujo de información para nuevas aplicaciones.

En la sección de la solución del diseño, se debe describir la solución recomendada, y las características y beneficios que éste provee. Se debe organizar el contenido en esta sección de acuerdo a las necesidades del usuario, listar en orden las prioridades del usuario. Y asegurarse de incluir los siguientes componentes:

- ↪ Propósito de la topología de red, incluyendo un diagrama de la topología de red y las ventajas ofrecidas por el diseño de la topología de red.
- ↪ Hardware y medios recomendados para la LAN y WAN, incluye características y beneficios de cada componente que se seleccionó, relacionado a las necesidades del usuario de desempeño, seguridad, capacidad y escalabilidad.
- ↪ Modelo de nombres y el modelo de direccionamiento de red, incluye el modelo de direccionamiento y de nombres para todos los componentes de la red, relacionado a las necesidades del usuario de desempeño, seguridad, capacidad y escalabilidad.



- ↪ Protocolos recomendados de enrutamiento y bridging de la red, relacionado a las necesidades del usuario de desempeño, seguridad, capacidad y escalabilidad.
- ↪ Características del software provisto para la red, incluye las características del software, políticas de seguridad, como listas de acceso, autenticación, servicios proxy, encriptación, compresión, encolamiento; entre otros. Relacionados con las características del software seleccionado para las necesidades del usuario de desempeño, seguridad, capacidad y escalabilidad.
- ↪ Estrategia de administración de red, incluye los productos recomendados y los protocolos relacionados con las necesidades del usuario. Incluya una descripción de la estrategia de administración proactiva de red.

El resumen de la solución y artículos de cómo la solución resuelve las necesidades del usuario. Puede incluir apéndices que contengan información adicional. Se deben incluir tantos apéndices como sea necesario para detallar la información. Es necesario asegurarse de realizar el documento con un lenguaje claro para que el usuario lea y comprenda. Es decir, tenga en mente el umbral del usuario para aceptar grandes cantidades de información.

Los apéndices pueden incluir:

- ↪ Una lista de contactos del proveedor y de la empresa del cliente (usuario).
- ↪ Una línea de tiempo de la implantación del proyecto (plan de trabajo).
- ↪ Información adicional de los productos utilizados para el proyecto (ficha técnica).
- ↪ Detalles del direccionamiento y el esquema de nombres que se desarrollo para el usuario.
- ↪ Detalles para la estrategia de administración de la red que se desarrollo para el usuario.
- ↪ Resultados del prototipo de pruebas.
- ↪ El resultado de cualquier medida de desempeño que hayas realizado en la red del usuario.

4.8. VALIDANDO EL DISEÑO DE RED.

4.8.1. OBJETIVOS.

- ↪ Determinar cuanta de la estructura de red debe ser construida, para que el diseño de red cumpla con las necesidades del usuario.
- ↪ Listar las tareas requeridas para construir el prototipo o piloto.
- ↪ Describir como demostrar el prototipo o piloto al usuario.



4.8.2. PASOS PARA CONSTRUIR UN PROTOTIPO.

Paso 1. Determinar cuanta de la estructura de red debe ser construida para que el diseño de red cumpla con las necesidades del usuario. Investigar los servicios y herramientas que se pueden usar para simplificar las tareas de compra, instalación y configuración del equipo para el prototipo, por ejemplo, probando servicios y herramientas de simulación de red.

Paso 2. Desarrollar un plan de prueba:

- ↳ Realizar un diagrama de la topología del ambiente de prueba. Incluyendo en el diagrama los parámetros de mayor configuración:
 - ↳ Listar las herramientas de simulación, del hardware y software que se necesitaran para el prototipo.
 - ↳ Incluir cables, módems, conexiones WAN, accesos de Internet, estaciones de trabajo, servidores, herramientas de simulación de diseño, simulador de equipos de telefonía y así sucesivamente.
- ↳ Desarrollar una lista de las pruebas y demostraciones que realizará:
 - ↳ Explicar la finalidad de cada una de las pruebas y como estas contribuirán en el diseño de la red, cubriendo las necesidades del usuario.

Paso 3. Configurar y comprar (si es necesario):

- ↳ Herramientas de simulación de red.
- ↳ Hardware y software.

Paso 4. Practicar la demostración.

Paso 5. Dirigir pruebas finales y demostraciones.

4.8.3. PASOS PARA CONSTRUIR UN PILOTO.

Para organizaciones pequeñas, un piloto puede ser más práctico. Un piloto es simplemente un diseño pequeño de un prototipo usado para demostrar funciones básicas.

Si aplica, hay recomendaciones mínimas para un diseño piloto:

Paso 1. Probar el diseño. Asegurarse que pueda reunir los requerimientos del usuario. Por ejemplo, los usuarios deberán ver sus pantallas dentro de un décimo de segundo.

Paso 2. Escribir un script para demostrar los resultados de la prueba:

- ↳ Asegurarse que las pruebas resulten como el diseño establece para que cubra las necesidades del usuario.

Paso 3. Practicar la demostración.

Paso 4. Agendar el tiempo con el usuario y presentar la demostración.



4.8.4. MOSTRANDO LOS RESULTADOS.

Una vez que las pruebas hayan pasado con éxito y se hayan cumplido los alcances de diseño, el usuario deberá estar consciente de dichos alcances. Usando los resultados de las pruebas, se deberá demostrar que el diseño cumple con los alcances establecidos en base a los requerimientos del usuario en cuanto a desempeño, seguridad, capacidad y escalabilidad, y que el diseño está en el umbral de costo y riesgo del usuario. Los resultados se pueden mostrar de diferentes maneras, incluyendo las que siguen:

- ↪ Publicar los resultados en un conciso pero comprensivo reporte.
- ↪ Agregar los resultados de las pruebas en el documento de diseño de la red.
- ↪ Realizar alguna presentación con los resultados y realizar una comparativa entre los resultados y los alcances del diseño.

Se puede utilizar el siguiente checklist al verificar el prototipo para la funcionalidad y escalabilidad de la red apropiada. Este checklist contiene consejos de cómo realizar, pero no son reglas. Las respuestas correctas con respecto a las preguntas para la salud de la red usualmente es “**depende de**”. El alcance depende de la topología, la configuración de los enrutadores, las aplicaciones de red, requerimientos de los usuarios, y muchos otros factores.

- ↪ Ningún segmento Ethernet se satura (no más del 40% de la utilización de red).
- ↪ Los enlaces WAN están saturados (no más del 70% de utilización de red).
- ↪ Los tiempos de respuesta son generalmente más bajos que 100 milisegundos (1/10 de segundo).
- ↪ Ningún segmento tiene más del 20% de broadcast/multicast.
- ↪ Ningún segmento tiene más que un error de CRC por millón de bytes de datos.
- ↪ En los segmentos Ethernet, menos del 0.1% de tramas resulta en colisión.
- ↪ Los enrutadores no están sobre utilizados (en 5 minutos no hay más del 75% de utilización del CPU).
- ↪ El número de colas de salida tiradas no excede más de 100 en una hora en el enrutador.
- ↪ El número de colas de entrada tiradas no excede más de 50 en una hora en el enrutador.
- ↪ El número de errores en el buffer no excede más de 25 en una hora en el enrutador.
- ↪ El número de paquetes ignorados no excede más de 10 en una hora en cualquier interfaz del enrutador.

CAPITULO VII

“VISIÓN DE UNA RED LAN, MAN, WAN Y RDSI POR FIBRA ÓPTICA”



... Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas.

ALBERT EINSTEIN.



1. REDES DE ALTA DISPONIBILIDAD.

Hoy en día las redes modernas han llegado a ser cruciales en la vida diaria. Los departamentos de policía, hospitales, los negocios y virtualmente de cualquier organización, dependemos del buen funcionamiento de sus sistemas de computadoras conectadas a una red, y mientras más dependamos de estos sistemas, más nos afectan cuando estos dejan de funcionar.

Para todos aquellos que están envueltos en la planificación, diseño, construcción, y funcionamiento de estas redes, es necesario que sepan y puedan predecir problemas que afecten o que puedan afectar los tiempos activos de la red. Predecir los problemas permite reducir el impacto de estos, y con las predicciones de la disponibilidad de la red, se puede asegurar que dichas redes van a dar un servicio eficiente a la gente antes de que se empiece la construcción de estas, y por otra parte aseguramos que los usuarios puedan utilizar en cualquier momento los beneficios y recursos que dichas redes ofrecen.

1.1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE ALTA DISPONIBILIDAD.

Recientemente, el crecimiento de Internet y el uso de sistemas de cómputo para los negocios han florecido en cierto modo más de lo que se tenía esperado. En 1990, fue posible contactar a individuos de algunas compañías (principalmente compañías de cómputo) vía correo electrónico, y solo una década después, miles de compañías estaban ofreciendo a los consumidores la disponibilidad de comprar productos de sus sitios Web en Internet.

Como Internet y las redes de datos se vuelven parte de nuestras vidas, nosotros nos estamos volviendo dependientes de estas, y para que nosotros confiemos en estas, necesitamos hacer que estas sean muy confiables. Cuando se dice que se quiere una red para trabajar en cualquier momento, y se requiere que este siempre disponible.

Las redes de hoy no solo llevan simplemente transacciones de ventas e información de un negocio. De hecho en algunos lugares, se puede utilizar un teléfono, marcar un número telefónico, y la llamada telefónica pasa sobre una red de datos en lugar de la infraestructura de la compañía de teléfono tradicional, así el tráfico de voz también está volviéndose otra parte de las redes de datos.

En algunas ciudades, los consumidores pueden comprar su servicio telefónico a una compañía de cable en lugar de una compañía de telefonía tradicional, y estas personas dependen del equipamiento de las redes para hacer uso de los servicios de emergencia, por ejemplo imagínese si se levanta el teléfono para marcar un número de emergencia y no se obtuvo tono de marcado. Cuando una vida depende de una red, la disponibilidad de la red es crucial y puede ser una cuestión de vida o muerte, y es por esto que la disponibilidad de la red se convierte ahora en un miembro de un club exclusivo en hospitales, ambulancias, y de doctores que pueden salvar una vida.



1.2. NECESIDADES DE MAYORES TASAS DE TRANSMISIÓN.

Con el avance de la tecnología, miles de personas e innumerables empresas están participando del proceso de la globalización, principalmente a través de las comunicaciones y de la red de comunicación de datos.

La comunidad de negocios asigna un alto valor a determinados atributos, una demanda insaciable de velocidad, la facultad de acceso instantáneo a fuentes de información, y sobre todo la imperiosa necesidad de adaptarse a fluctuantes exigencias de los usuarios.

Estas necesidades se deben al gran desarrollo y demanda de aplicaciones, como son el Internet, simulaciones en tiempo real interactivas, modelado tridimensional, manejo de imágenes, videos, así como el manejo de diferentes tipos de información y la integración de los sistemas de voz.

2. RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI).

La **RDSI** (Red Digital de Servicios Integrados) o también conocida como **ISDN** (Integrated Services Digital Network), es la evolución de las redes telefónicas actuales. Originalmente, todo el sistema telefónico estaba compuesto por elementos analógicos, y la voz era transportada por las líneas telefónicas modulada como una forma de onda analógica. Posteriormente aparecieron las centrales digitales, que utilizan computadores y otros sistemas digitales. Estas son menos propensas a fallos que las centrales analógicas y permiten además controlar más líneas de usuarios y realizar las conexiones mucho más rápidamente. En estas centrales la voz se almacena y transmite como información digital, y es procesada por programas informáticos.

La RDSI ha sido considerada como un avance al especificar servicios de red digital que pueden llevarse a cabo sobre la existente red telefónica digital integrada además de ofrecer un alto desempeño de 2Mbps en un enlace local, y de 64 Kbps o 128 Kbps sobre área amplia.

Es un estándar de comunicaciones para enviar voz, video y datos sobre las líneas digitales telefónicas y sobre líneas telefónicas estándar. La RDSI tiene la habilidad de entregar simultáneamente dos conexiones sobre un solo par de líneas telefónicas. Las dos conexiones pueden ser una combinación de datos, voz, vídeo o incluso fax.

2.1. RDSI DE BANDA ESTRECHA.

Con la aparición de ATM, también llamada RDSI de banda ancha, se sintió la necesidad de añadirle un adjetivo a la antigua RDSI, por lo que a veces se la denomina también RDSI de banda estrecha, narrowband-ISDN o N-ISDN. Cuando se utiliza la denominación RDSI sin más generalmente se está haciendo referencia a la RDSI de banda estrecha.



Dado que la transmisión de la señal se hace de forma digital en todo el trayecto, en RDSI el teléfono actúa de códec digitalizando la señal acústica del auricular con una frecuencia de muestreo de 8 KHz, enviando ocho bits por muestra. En el caso de conectar un ordenador a la línea no necesitamos utilizar módem (pero sí un adaptador) y podremos transmitir datos a la velocidad nominal del canal, es decir a 64 Kb/s. A diferencia de lo que ocurre con las conexiones analógicas aquí los 64 Kb/s full dúplex están asegurados, sin ruidos ni interferencias, y no hay necesidad de negociar la velocidad en función de la calidad de la línea.

Además de esta la RDSI tiene otra serie de ventajas respecto a la red analógica, entre las que cabe destacar por su relevancia de cara a la transmisión de datos las siguientes:

- ↪ La llamada y el establecimiento de la conexión se realiza en un tiempo muy corto, de 0,5 a 2 segundos frente a los 5 a 20 segundos que requiere una llamada analógica. Esto permite configurar los equipos para que la llamada se realice de manera automática cuando la aplicación del usuario necesita enviar tráfico por el circuito; en la red analógica esto no es normalmente posible pues el retardo que aprecia el usuario es excesivo.
- ↪ El número llamante se identifica, por lo que es posible establecer mecanismos de seguridad basados en la comprobación del número llamante (en el caso de telefónica la identificación no siempre es posible por la limitación de sus centrales RDSI). Esta función empieza a estar disponible en la actualidad también para líneas analógicas.

2.2. TRANSMISIÓN DIGITAL.

La RDSI es definida por la Unión de Comunicaciones Internacionales y Sector de Estandarización de Telecomunicaciones (ITU-TSS) como una red que evolucionó de la telefonía de Red Digital Integrada (IDN, Integrated Digital Network) que provee una conectividad digital fin a fin y que soporta varios servicios. Hay 2 características que distinguen a la RDSI de las redes de telefonía tradicionales:

- ↪ Es una conexión digital entre dos puntos y define un conjunto de protocolos de interfaz usuario-red en base a estándares internacionales.
- ↪ Todos los dispositivos de la RDSI pueden utilizar el mismo tipo de conexión física y el mismo conjunto de protocolos de señal.

La RDSI combina la extensa red de telefonía con la capacidad de acarreo de datos digitales dentro de una estructura bien definida que puede soportar simultáneamente aplicaciones de voz, datos y vídeo. La RDSI es una opción viable para redes de área amplia.



2.3. ESTRUCTURA DE LA RDSI.

La RDSI es un servicio compuesto por dos tipos de canales:

- ↳ Canales Portadores (Bearer Channels) o Canales **B**; y
- ↳ Canales de Señalización (Signaling Channels) o Canales **D**.

Estas denominaciones se comprenden mejor si se piensa en RDSI como una red para la voz; en ese sentido el canal **B** es el que transporta la voz digitalizada mientras que los “datos” (el canal **D**) son la información de control, por ejemplo del protocolo de señalización utilizado para realizar la llamada. En condiciones normales los canales **B** se activan sólo cuando existen llamadas establecidas, y conectan dos usuarios de la red RDSI entre sí; en cambio el canal **D** está siempre activo entre el usuario RDSI y la central correspondiente. Gran parte de las ventajas de RDSI frente a la telefonía convencional (como la rapidez de marcación) se deben precisamente a la existencia de ese canal **D** de señalización fuera de banda permanentemente establecido.

Cuando se utiliza RDSI para transportar datos se hace a través de los canales **B**, ya que el canal **D** sigue desarrollando las labores de señalización y control, a pesar de su nombre.

2.3.1. CANALES PORTADORES (Canales B).

Canal B (Canal Portador): Estos canales transmiten a 64 Kbps en modo de conmutación de circuitos o de paquetes para enviar la información (voz, datos, información multiplexada de los usuarios). Todos los servicios de red están disponibles a través de canales tipo **B**. En canal **B** puede ser usado en la conmutación de paquetes y circuitos. Para la conexión por conmutación de circuitos el canal **B** es dado completamente a una sola interfaz de usuario en modo transparente y no se permiten señales de control de la conexión en el canal **B**. Para la conexión por conmutación de paquetes, el flujo de datos del canal **B** puede ser conmutada en diferentes circuitos virtuales para la separación de destinos.

Canal H: Este tipo de canales son funcionalmente equivalentes a los canales **B** pero operando a velocidades mayores a 64 Kbps. Su función principal es la de transmitir la información del usuario a tasas de transmisión de datos mayores a 64 Kbps y un poco más de 100 Mbps, como por ejemplo: vídeo digital, audio, resolución para televisión, teleconferencia y datos. En la tabla VII.1, se pueden apreciar ejemplos de canales tipo **H**:

Los proveedores combinan estos dos tipos de canales para definir los dos tipos de servicio RDSI: **BRI** y **PRI**. Estos dos canales lógicos definen propiamente su función y capacidad. Las funciones que se definen son la transmisión de datos, y la administración de la señal y control de llamada.



CANAL	Tasa de Transmisión Kbps	Tasa múltiplo de Canales B	Tasa múltiplo de Canales H0
H0	384	6	1
H11	1536	24	4
H12	1920	30	5
H21	32768	512	--
H22	44160	690	115
H4	135168	2112	352

Tabla VII.1 Ejemplos de Canales tipo H.

2.3.2. CANALES DE SEÑALIZACIÓN (Canales D).

Canal D: Los canales **D** transmiten a 16 Kbps para la interfaz **BRI**, y a 64 Kbps para la interfaz **PRI**. Las funciones principales de estos canales es la de transmitir información de señalización para establecer una llamada, control de la conexión y terminación de la llamada. Es decir, lleva la señal de llamada y configuración para establecer una conexión de red, petición de servicios de red, enrutamiento de datos sobre canales **B** y la terminación de la llamada cuando se ha completado la transferencia de datos. En canal **D** es separado de los canales **B**, es decir, está fuera de banda y proporciona un tiempo de conexión más rápido a la RDSI. El ancho de banda no requerido para la señalización y control sobre el canal **D** puede ser utilizado para transportar paquetes de usuario o tramas de datos cuando es necesario. La señalización del canal **D** es una función de la capa de red, de enlace de datos y nivel físico del modelo de referencia OSI.

El canal de señalización **D** trabaja en las primeras tres capas del modelo de referencia OSI de la manera siguiente:

Funciones de la Capa Física. El protocolo de capa física de la RDSI establece una conexión de conmutación de circuitos a 64 Kbps. Este también soporta la interfaz física por el adaptador de red **NTA** (Network Terminal Adapter), el cual soporta la conexión de múltiples dispositivos de manera simultánea. Finalmente, este protocolo administra la verificación del circuito y funciones de monitoreo.

Funciones de la Capa de Enlace de Datos. La capa de enlace de datos de la RDSI establece rutas virtuales en la red para tramas de datos. Este protocolo también maneja el control de llamadas y funciones de señalización por medio del Procedimiento de Acceso al Enlace por el Canal **D** (LAP-D Link Access Procedure for D Channel).

Funciones de la Capa de Red. Esta capa de la RDSI maneja los servicios tanto de conmutación de circuitos como de paquetes. La capa de red crea el direccionamiento y determina la información de ruta que la capa de enlace de datos usará para establecer las rutas virtuales.

2.4. ESTÁNDARES DE INTERFAZ DE USUARIO.

La RDSI ha desarrollado dos servicios estándar de interfaz de usuario y definidos por la ITU-TSS. Estos servicios estándar, llamados Interfaces de Tasa, combinan canales portadores y el canal de señalización en diferentes densidades. Estos servicios son:

- ↪ Interfaz de Tasa Básica (BRI).
- ↪ Interfaz de Tasa Básica (PRI).

2.4.1. INTERFAZ DE TASA BÁSICA (BRI).

La Interfaz de Tasa Básica o **BRI** (Basic Rate Interface), consiste usualmente de dos canales **B** y un canal **D** de 16 Kbps para la señalización ($2\mathbf{B}+\mathbf{D}$), dando una tasa de transmisión de datos de 144 Kbps²². Algunos proveedores de RDSI también pueden ofrecer un solo canal **B** y otro **D** ($1\mathbf{B}+\mathbf{D}$). Los canales **B** se usan de forma simultánea pero independiente uno de otro en la misma conexión. Con este esquema se tiene la posibilidad de enviar de manera simultánea e independiente voz y datos de una sola o diferentes terminales sobre una misma interfaz de usuario. Al enviar la información de control por un canal distinto (canal **D**) permite crear una tercera conexión para la información de control y datos de baja velocidad a un usuario final. La BRI fue diseñada para dispositivos caseros o de pequeñas empresas como telefonía digital, terminales de datos, computadoras personales, fax e impresoras, debido a que las tasas pico de datos generadas en las aplicaciones que se ejecutan en estos dispositivos están por debajo de 100 Mbps.

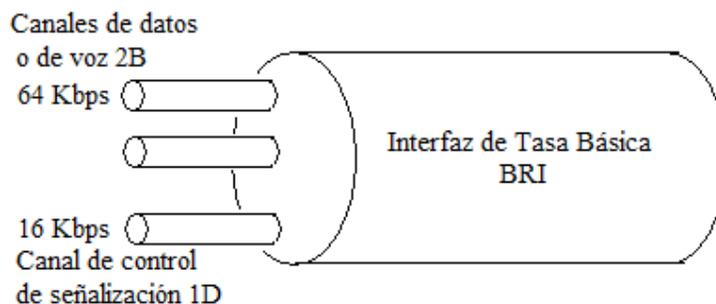


Figura VII.1 Interfaz de Red-Usuario BRI.

2.4.2. INTERFAZ DE TASA PRIMARIA (PRI).

La Interfaz de Tasa Primaria o **PRI** (Primary Rate Interface) es una interfaz ($23\mathbf{B}+\mathbf{D}$)²³ en los Estados Unidos y Japón, y una interfaz ($30\mathbf{B}+\mathbf{D}$) en Europa. Los canales **B** pueden

²² Con velocidades de hasta 128 Kbps, RDSI ofrece un mayor ancho de banda que las soluciones en módems analógicos, con rangos desde 4.8 Kbps a 28.8 Kbps. Utilizando una proporción de compresión desde 2:1 a 4:1, este puede entregar tasas de transmisión efectiva desde 256 Kbps hasta 632 Kbps.

²³ Generalmente la versión de 1.5 Mbps se obtiene como una combinación de los canales **B** y **H0** y puede o no contener un canal **D** de 16 Kbps. El más utilizado es el de $23\mathbf{B}+\mathbf{D}$ con el canal **D** a 64 Kbps y obteniendo así

ser adicionados para formar las configuraciones referidas en una terminología de intercambio local como servicios **H** (ver tabla VII.1). El canal **D** es un canal de 24 Mbps (o 31 Mbps, dependiendo del país), y controla los procedimientos de señalización para algunos o todos los canales **B**.

Las líneas pueden ser usadas como troncales para transferencia de archivos grandes y flujos de datos continuos, o ser subdivididos con un multiplexor para proveer múltiples canales para varios dispositivos.

La Interfaz de Tasa Primaria se diseñó para ajustarse al manejo de vídeo comprimido, dispositivos de audio de alta calidad, terminales gráficas de alta velocidad, dispositivos fax digitales y tele servicios. La tasa de datos transmitidos para los dispositivos que usan **PRI** llega al rango de hasta 2 Mbps.

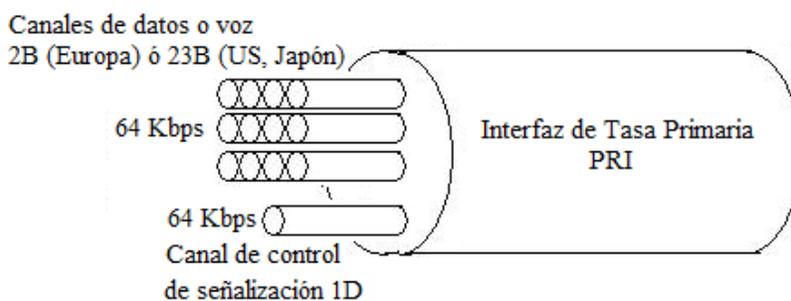


Figura VII.2 Interfaz de Red-Usuario PRI.

2.5. MODO DE OPERACIÓN DE LA RDSI.

En una red analógica donde un ciclo de dos alambres que van desde una oficina central de la compañía local hasta el usuario, soporta un solo canal de transmisión el cual puede acarrear solamente un servicio de voz, datos o vídeo a la vez. Con la RDSI este mismo par de alambres de cobre trenzado es dividido de manera lógica en múltiples canales, lo que permite tener varios servicios simultáneamente.

La RDSI utiliza la misma conexión canalizada para su transmisión de larga distancia como el tráfico de larga distancia entre oficinas de conmutación de teléfonos que corren sobre enlaces troncales T1/E1 que consisten de 4 alambres divididos lógicamente en múltiples canales.

2.6. COMPONENTES BÁSICOS DE LA RDSI.

Los componentes básicos de la Red Digital de servicios Integrados son:

1536 Kbps. La información del usuario se transmite por canales **B** y las señales de control por el canal **D**, además de que en cada trama se agrega un bit para señalización conteniéndose de esta manera una tasa global de 1.5 Mbps.



- ↪ **Equipo Terminal 1 (TE1):** Designa a un equipo que sea compatible con la RDSI. Un TE1 se conecta a una terminación de red de tipo 1 o 2. Son equipos que soportan la señalización ISDN.
- ↪ **Equipo Terminal 2 (TE2):** Designa a un dispositivo que no es compatible con RDSI y requiere un adaptador de terminal.
- ↪ **Adaptador de Terminal (TA):** Convierte las señales eléctricas estándar en la forma utilizada por RDSI de modo tal que los dispositivos que no son compatibles con RDSI puedan conectarse a la red.
- ↪ **Terminación de Red Tipo 1 (NT1):** Conecta un cableado de abonado RDSI de 4 cables a la facilidad del bucle local convencional de 2 cables.
- ↪ **Terminación de Red Tipo 2 (NT2):** Dirige el tráfico hacia y desde diferentes dispositivos de abonado y el NT1. El NT2 es un dispositivo inteligente que realiza conmutación y concentración.

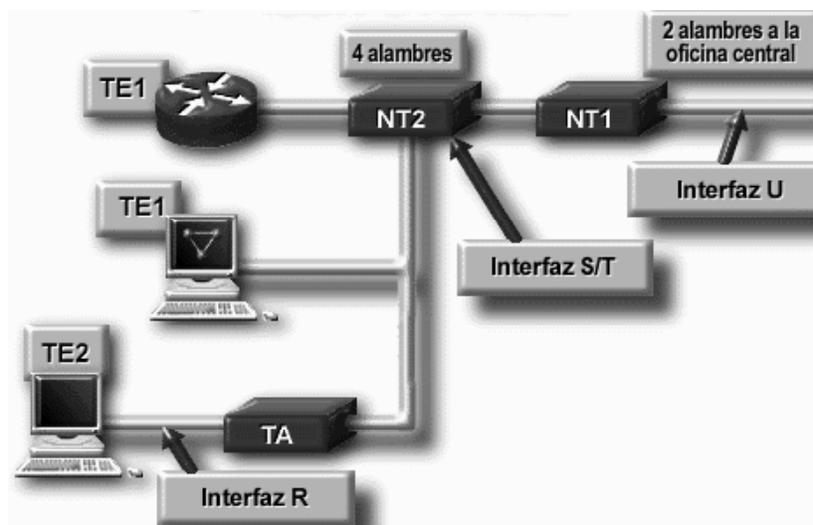


Figura VII.3 Componentes Básicos de la RDSI.

2.7. PUNTOS DE REFERENCIA.

Entre cada uno de los componentes, ISDN especifica ciertos **puntos de referencia**, los que definen interfaces lógicas. Estos puntos de referencia se han denominado con letras que los caracterizan.

- ↪ **U:** Es el punto de referencia entre la central telefónica y el NT1. Es una interfaz de 2 hilos, los que pueden llegar a distancias de varios kilómetros (desde la central pública hasta el edificio dónde se ubica el terminal ISDN).

- ↪ **T:** Es el punto de referencia entre el NT1 y el NT2. Es una interfaz de 4 hilos, y generalmente corta.
- ↪ **S:** Es el punto de referencia entre el NT2 y los terminales ISDN, o los adaptadores TA. Es una interfaz de 4 hilos, y generalmente corta.
- ↪ **R:** Es el punto de referencia entre el TA y los terminales no compatibles con ISDN. Para soportar teléfonos analógicos, nuevamente es una interfaz de 2 hilos.

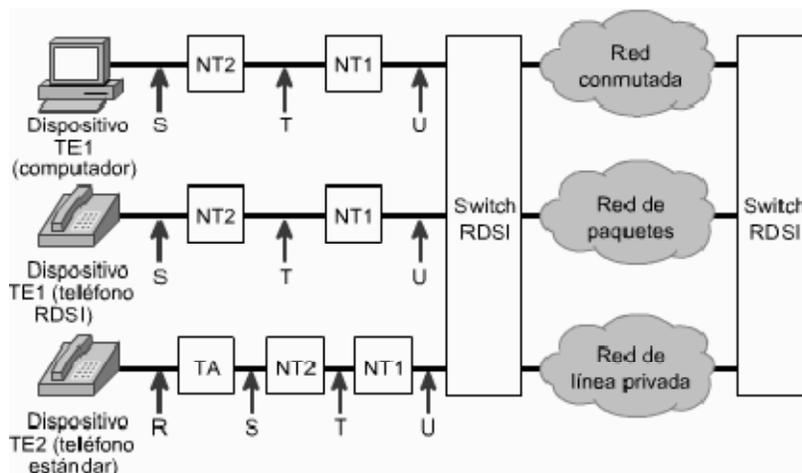


Figura VII.4 Configuración de RDSI.

En la figura VII.4 aparece un ejemplo de configuración RDSI, en la que hay tres dispositivos conectados a un switch RDSI en la Oficina Central (CO). Dos de estos dispositivos son compatibles con RDSI, de modo que se pueden conectar a través de un punto de referencia **S** con los dispositivos **NT2**. El tercer dispositivo (un teléfono estándar, que no es del tipo RDSI), se conecta a través del punto de referencia **R** a un **TA**. Aunque no aparecen en la figura, hay estaciones de usuario similares conectadas al switch RDSI ubicado a la derecha.

2.8. SEÑALIZACIÓN ENTRE CENTRALES.

Existen 2 tipos de señalización:

- ↪ **De Línea:** Realiza el proceso de establecimiento de un circuito dependiendo del estado del mismo.
- ↪ **De Registro:** Maneja la información de los tipos de abonados y distintos estados de los mismos.

La señalización entre centrales de la RDSI puede ser:



- ↪ **Por Canal Asociado:** La señalización de cada canal está “asociada a lugares fijos en la trama”.
- ↪ **Por Canal Común:** Un canal de señalización “común a toda la trama o a varias tramas” lleva la señalización completa de todos los canales.

2.8.1. SEÑALIZACIÓN POR CANAL ASOCIADO.

Dentro de la estructura de trama de una señal **E1** se reserva el **TS16** de las tramas de la 1 a la 15 para llevar la señalización de línea, llevando información de estado del circuito con 4 bits por canal, tomando dos por trama y así completar los 30 canales de información.

2.8.2. SEÑALIZACIÓN POR CANAL COMÚN.

Para el caso de una señal **E1** la información de señalización es transportada por un canal común, en donde la información es un protocolo de datos que en conjunto, maneja la señalización de todos los circuitos.

Puede establecer los circuitos y llamadas; es decir, de forma lógica realiza las funciones de señalización de línea y de registro de todos los **TS** del **E1** por un canal común a ellos.

2.9. INTERFAZ DE TASA DE BANDA ANCHA.

Este es un tipo de estructura que está basada en un par de formatos de la llamada Red Óptica Síncrona **SONET** (Synchronous Optical Network) definido por ANSI. La tasa de bits y la combinación de señales que han sido digitalizadas ya sea por PCM o por algunas de las codificaciones de reducción de tasa.

Existen únicamente dos estructuras definidas: la primera que equivale a 2016 canales **B** para una tasa de 129.024 Mbps y la segunda que equivale a 8064 canales **B** una tasa de 516.0096 Mbps.

La interfaz de banda ancha provee la capacidad requerida para la transmisión de cuadros de movimiento, televisión estándar y de alta definición, videoconferencias y datos de vídeo.

2.10. RDSI DE BANDA ANCHA (BROADBAND ISDN).

Este es un servicio que ofrece velocidades en el rango de los 600 Mbps. Por medio de estas velocidades se soportan transmisiones interactivas sofisticadas, almacenamiento y envío de difusión multimedia y servicios de reparación. El estándar B-RDSI es también la base para el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM).



2.11. DESIGNACIÓN DEL ANCHO DE BANDA DINÁMICO.

La arquitectura de la RDSI permite la designación del ancho de banda para lograr una velocidad de transmisión efectiva. El ancho de banda dinámico o designación de canal, es la agregación lógica²⁴ de ambos canales **B** para línea PRI, para un rendimiento efectivo de hasta 1.536 Mbps en Estados Unidos y de 1.92 Mbps en Europa. También es conocido como ancho de banda sobre demanda o multiplexaje inverso.

2.12. SERVICIOS SOBRE LA RDSI.

La CCITT define en tres categorías los servicios de la RDSI:

- ↪ **Servicios de Portadora (Bearer Services):** Estos son las existentes redes analógicas o digitales que se han especializado en entregar información de un punto a otro (incluyendo voz y datos, ya sea de conmutación de circuitos o conmutación de paquetes) como la telefonía digital, datos de conmutación de circuitos a 64 Kbps y datos de conmutación de paquetes (X.25)²⁵ y datos Frame Relay.
- ↪ **Tele-servicios:** Estos servicios sofisticados que RDSI puede ofrecer gracias a que opera a niveles muy altos en el modelo de referencia OSI. Algunos de estos servicios son el correo electrónico, videotex, telefax, fax y videotelefonía (provee servicios de transmisión de televisión sobre la RDSI).
- ↪ **Servicios Suplementarios:** Estos servicios suplementarios amplían las funciones de tanto los servicios de portadora como los de tele-servicio²⁶. Estos abarcan más las características asociadas con las llamadas *fast dialing* (*marcación rápida*), *calling line ID* (*ID de línea llamante*), *calling waiting* (*llamada en espera*), *calling forwarding* (*reintento de llamada*), *conferencing* (*conferencias*), entre otros. Estos servicios suplementarios pueden ser ofrecidos o no por el proveedor RDSI.

3. REDES MULTISERVICIO.

Las Redes multiservicio son la integración de soluciones de voz, datos y vídeo en una sola red basada en IP. Actualmente existen tres motivos por los que las empresas están planteándose la integración de sus redes de voz y datos. En primer lugar está la reducción de costos, en segundo lugar la mejora en la comunicación y la productividad de los empleados, y por último por las aplicaciones novedosas que pueden implementarse que, sin duda, mejoran la comunicación con sus clientes.

²⁴ La agregación de canales es frecuentemente abreviada como $N \times 64$ Kbps, donde N es el número de canales lógicos combinados.

²⁵ X.25 es una red que transmite datos basándose en el switcheo de paquetes, mediante el uso de PAD's (Ensambladores/Desensambladores de Paquetes) (Packet Assembler/Disassembler).

²⁶ Por definición, los servicios suplementarios no se pueden encontrar solos.



La alta calidad de servicio (QoS) ya ha demostrado ser la tecnología que hace posible la convergencia de las redes de voz, video y datos. A medida que evolucionan las necesidades comerciales, también lo hacen las exigencias en las tecnologías QoS. La necesidad de proteger la voz, el video y los datos críticos a través de mecanismos de QoS en una red empresarial se ha intensificado en los últimos años, debido más que nada al aumento en la frecuencia y la sofisticación de los ataques de denegación de servicio (DoS) o de gusanos.

3.1. CALIDAD DE SERVICIO QoS.

Los últimos años han sido testigos del rápido crecimiento del tráfico de redes informáticas. Los administradores agregan continuamente nuevos recursos para tratar de responder al ritmo de la creciente demanda. Incluso los clientes de redes no están, a menudo, satisfechos con el rendimiento de la red. El uso creciente de un nuevo tipo de aplicaciones multimedia ávidas de recursos va a agudizar esta situación. Los mecanismos de QoS proporcionan un conjunto de herramientas que el administrador de redes puede utilizar para administrar el uso de recursos de red de una forma controlada y eficaz. Como resultado, se obtendrá un servicio mejor a las aplicaciones y a usuarios de misiones críticas, al mismo tiempo que se va frenando el ritmo al que es necesario aumentar la capacidad. En resumen, QoS puede ayudar a mejorar el servicio a los usuarios de la red, al mismo tiempo que reduce los costos de ofrecer dichos servicios.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO.

Existen 4 características de tráfico en las que las herramientas de QoS pueden intervenir:

- ↩ Ancho de Banda.
- ↩ Delay.
- ↩ Jitter.
- ↩ Pérdida de paquetes.

Diferentes tipos de tráfico requieren diferente tratamiento dentro de la red. Una aplicación de transferencia de archivo no tiene grandes problemas si se presenta un retardo; sin embargo las aplicaciones en tiempo real tales como voz y video si son afectadas por un retardo.

Se puede pensar que la red es la responsable de las fallas cuando se presentan las siguientes características:

- ↩ Aplicaciones lentas.
- ↩ Los archivos toman mucho tiempo para ser transferidos.
- ↩ Videos congelados.
- ↩ Retardos en transmisión de voz.

En todos estos casos puede ser removido el problema si se implementan las características de QoS.



En la tabla VII.2, se muestran los comportamientos de los datos, video y voz en una red cuando no se emplea QoS.

Tipo de Tráfico	Comportamiento sin QoS
Voz	La voz es difícil de entender
	La voz se escucha cortada
	Los retardos producen dificultad de comprensión
	Las llamadas son desconectadas
Video	Imágenes irregulares, movimientos desiguales
	El audio no está en sincronía con el video
	Movimientos lentos
Datos	Los datos llegan después de una larga espera
	Error de transferencia

Tabla VII.2 Comportamiento de tráfico sin QoS.

Desafortunadamente, implementar una característica de QoS podría afectar a alguna de las características del tráfico. El **ancho de banda** define la capacidad de la transmisión. La compresión de las herramientas reduce el ancho de banda que se necesita para transmitir paquetes, pero el proceso de compresión añade cierto retardo por paquete y también aumenta el procesamiento del CPU. El **jitter** es la variación del retardo entre varios paquetes consecutivos; un router puede reducir el jitter pero usualmente incrementa el retardo y el jitter de otros flujos de tráfico. Las características de QoS pueden añadir problemas de jitter, particularmente en el encolamiento de paquetes, en este caso la pérdida de paquetes puede ocurrir por errores en la transmisión y los mecanismos de QoS no pueden hacer mucho al respecto.

A continuación se describen las 4 características de tráfico.

3.2.1. ANCHO DE BANDA.

El término ancho de banda se refiere al número de bits por segundo que son transmitidos en un medio. En algunos casos, el ancho de banda es igual a la velocidad del enlace físico. En otros casos, el ancho de banda es menor que la velocidad real del enlace.

3.2.2. DELAY.

Todos los paquetes en la red desde que son enviados hasta que son recibidos experimentan algún tipo de retardo.

En algunos puntos de la red, el retardo es tan pequeño que puede ser ignorado para fines prácticos. En otros casos el retardo es muy significativo.



3.2.3. JITTER.

Es el efecto por el cual el retardo entre paquetes no es constante. Se trata de una latencia variable producida por la congestión de tráfico en el backbone de red, por distinto tiempo de tránsito de paquetes. Se puede utilizar un buffer para distribuir los paquetes y reducir el jitter, pero introduce un retardo adicional. Lo correcto es incrementar el ancho de banda del enlace; solución posible en un backbone pero de menor posibilidad en los enlaces WAN. Otra posibilidad es la formación de colas para prioridad de tráfico de telefonía sobre los de datos. El jitter afecta principalmente a las aplicaciones en tiempo real.

3.2.4. PÉRDIDA DE PAQUETES.

Es la tasa de pérdida de paquetes. Representa el porcentaje de paquetes transmitidos que se descartan en la red. Estos descartes pueden ser producto de alta tasa de error en alguno de los medios de enlace o por sobrepasarse la capacidad de un buffer de una interfaz en momentos de congestión. Los paquetes perdidos son retransmitidos en aplicaciones que no son de Tiempo Real; en cambio para aplicaciones en tiempo real, tales como la telefonía, no pueden ser recuperados y se produce una distorsión vocal.

4. REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Las Redes de Próxima Generación son redes convergentes multiservicio de voz/datos que funcionan en un mercado con una multiplicidad de proveedores, también son la respuesta tan esperada por aquellos operadores que buscan reducir en forma notable los costos de desarrollo de nuevos servicios, acelerar el tiempo de su comercialización, y disminuir los costos operativos (OpEx) además de también ser la respuesta para los vendedores de soluciones de telecomunicaciones centradas en IP.

La diferencia esencial entre las NGN (Next Generation Networks) y las redes de hoy en día, es el paso de las presentes redes "conmutadas en circuitos" a sistemas "basados en paquetes", tales como los que utilizan el protocolo Internet (IP). Se espera que las NGN proporcionen a los usuarios de líneas fijas y móviles una comunicación sin interfases y que ofrezcan a los usuarios y a diferentes proveedores de servicio, en un entorno multiservicio, multiprotocolos y multivendedores. Así pues, es absolutamente necesario contar con normas mundiales sobre las NGN, ya que se espera que la mayoría de los operadores pasen a una infraestructura IP.

Un principio de las NGN que destaca por encima de los demás es la flexibilidad ya que proporciona a los usuarios empresariales, servicios fijos y móviles que mejoran la forma en la que trabajan, y a los usuarios residenciales una serie completa de servicios. Sin embargo, el marco de trabajo de las NGN no es sólo el de facilitar la convergencia de voz y de datos, sino también la convergencia del transporte óptico y de la tecnología de paquetes, así como de las redes fijas y móviles. Se considera que las NGN estarán impulsadas por los servicios,



proporcionando todos los medios necesarios para ofrecer nuevos servicios y personalizar los ya existentes con el fin de generar ingresos en el futuro.

La tecnología óptica ha demostrado ser, con mucha diferencia, el medio de transporte más fiable y barato para transportar a largas distancias y, por consiguiente, ha sido la tecnología de transporte dominante en las redes centrales. Avances recientes, como la DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda), están incrementando enormemente los beneficios económicos del transporte sobre fibra óptica.

Ahora que el protocolo IP está destinado a convertirse en el protocolo que cubra todo en las redes centrales NGN, es importante que estas redes ópticas sean optimizadas para manejar tráfico IP. Una solución que está siendo perseguida activamente es la convergencia en las redes centrales de las capas óptica y de datos. Esto tiene una serie de ventajas, incluyendo un rápido aprovisionamiento de servicios y una protección de máxima eficacia como resultado del equipamiento de la red óptica con un conmutador por etiquetas de protocolo múltiple generalizado (GMPLS) y una interfaz óptica usuario-red.

Otro importante impulsor de las NGN es la disponibilidad de soluciones de gestión adecuadas. Puesto que las NGN se basarán en interfases abiertas, con todo lo que esto implica en términos de riesgos sobre la seguridad. Y juntarán en una sola red muchos tipos diferentes de servicios, la gestión de red tendrá que trabajar en un entorno multiservicio y multisuministrador.

En consecuencia, será de vital importancia una mayor seguridad de la información para protegerse de las numerosas amenazas contra los datos cada vez más valiosos que estarán fluyendo constantemente a velocidades de Terabit/s por las futuras redes. Ya existen tecnologías para protegerse contra la mayoría de las amenazas. Las áreas principales de investigación son la confidencialidad, la integridad y la autenticación. Las herramientas criptográficas y de seguridad disponibles para garantizar que se satisfacen estas necesidades incluyen el cifrado, los resúmenes de mensajes y las firmas digitales, respectivamente. Además, es importante la calidad de las llamadas transportadas por la red de acceso.

Las NGN requieren una arquitectura que permita la integración sin solución de continuidad con servicios de telecomunicaciones tanto nuevos como tradicionales en redes de paquetes de alta velocidad, interactuando con clientes que poseen capacidades heterogéneas. Dicha arquitectura generalmente está estructurada alrededor de cuatro capas principales de tecnología. La capa núcleo de conectividad incluye el enrutamiento y la conmutación, pasarelas de red y acceso. La capa de acceso y el equipo local del cliente (CPE-Customer-Premises Equipment) incluye las diversas tecnologías usadas para llegar a los clientes. La capa de servidor de aplicaciones contiene servicios mejorados y aplicaciones de valor agregado. La capa de gestión proporciona funciones de dirección empresarial, de los servicios y de la red. Cada una de estas capas se basa en una serie de normas que son esenciales para la introducción con buen éxito de una NGN.

4.2. PROPUESTA DE EVOLUCIÓN.

La primera etapa pasa por dotar de gran capacidad al núcleo de las redes. Introduciendo cambios en los servicios, aumentando los niveles de calidad de servicio que las redes van a ser capaces de ofrecer y dotando al acceso de una mayor velocidad que haga extensibles los servicios hasta el usuario final.

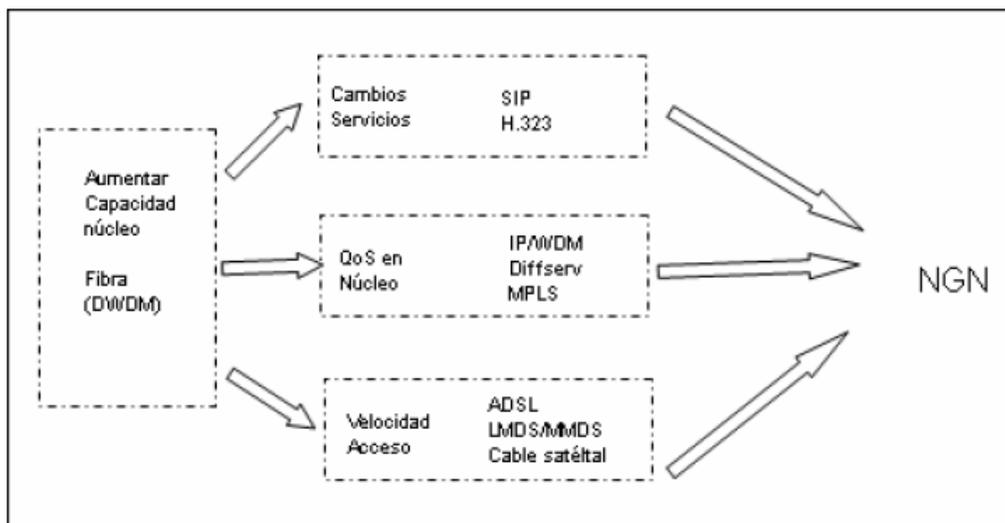


Figura VII.5 Evolución propuesta hacia las redes de nueva generación.

Cada operador, debe analizar de manera meticulosa cuál es su situación actual para identificar en qué punto se encuentra dentro de la citada propuesta de migración y, a partir del mismo, ser capaz de determinar cuáles deben ser las directrices que gobiernen su futura evolución particular.

4.2.1. DOTACIÓN DE CAPACIDAD EN EL NÚCLEO DE LA RED.

Como primer paso de todo el proceso se necesitará que los operadores doten a sus redes de un núcleo de elevada capacidad, que va a constituir el pilar fundamental de sus infraestructuras. Esta etapa se ve favorecida por el despliegue de redes de fibra y tecnologías de transmisión óptica.

Aquéllos que ya disponen de una base instalada de fibra óptica también se ven beneficiados, puesto que la implantación de WDM no requiere el tendido de nueva fibra sino que permite la reutilización de la ya desplegada. Este núcleo de red debe garantizar la interconexión con las redes de circuitos, con el objeto de que pueda ser aprovechado para la oferta de servicios tanto de voz como de datos, lo cual va a permitir obtener un ahorro de costos considerable en equipamiento de transmisión y en tareas de gestión. En esta etapa se debe asegurar la perfecta convivencia entre las redes de circuitos y las de paquetes.

4.2.2. DOTACIÓN DE CALIDAD AL NÚCLEO DE RED.

En esta misma etapa necesitaremos la incorporación de herramientas que permitan gestionar el tráfico y ofrecer garantías de QoS en el interior de la red, entran en acción soluciones como MPLS o DiffServ. La primera es capaz de dotar a las redes de cierta orientación a conexión, lo que proporciona una serie de habilidades de gran importancia en lo que respecta a tareas de gestión de tráfico.

DiffServ, por su parte, va a permitir a los operadores diferenciar flujos dentro del conglomerado de tráfico IP que circulará por sus redes. Esto posibilitará la oferta de calidades diferenciadas para los distintos servicios.

El desarrollo de estas soluciones va a permitir eliminar la capa ATM de las redes, constituyendo un paso más en la migración hacia la red objetivo basada en la implementación de IP directamente sobre WDM.

El otro paso es la eliminación de SONET/SDH. Este protocolo fue adoptado en el contexto de las redes destinadas al transporte de tráfico de voz y deja de tener sentido en un escenario gobernado por las tecnologías de conmutación de paquetes.

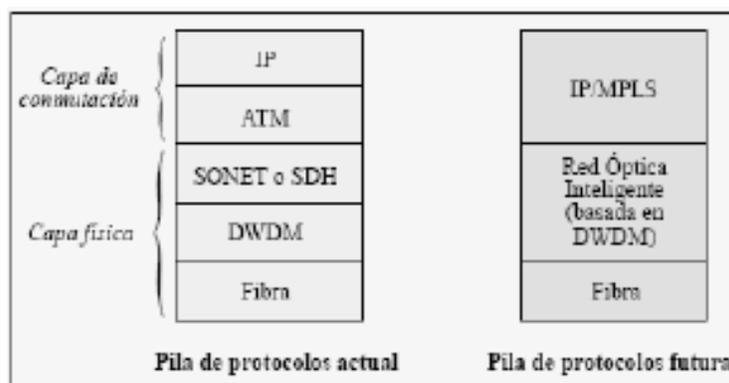


Figura VII.6 Presente y futuro del núcleo de red.

En la actualidad, se mantienen vigentes por sus maduros mecanismos de gestión. Sin embargo, en el momento en que esta funcionalidad sea adoptada por WDM y sea posible realizar la gestión de las redes a nivel óptico, nada detendrá la eliminación de la capa SONET/SDH.

4.2.3. DESPLIEGUE DE SERVICIOS.

Los servicios se van a convertir en la base de las operaciones de los operadores y en la pieza clave que permita asegurar la viabilidad de sus modelos de negocio la clave de su futuro reside en los servicios. Se considera imprescindible que los nuevos servicios se monten sobre la nueva red basada en conmutación de paquetes, puesto que esta solución resulta mucho más eficiente y flexible.



Su provisión se llevará a cabo en nodos de servicio conectados a la red troncal, con esto se consigue eliminar la complejidad del núcleo de la red y se transfiere a los extremos, que pasa a ser una solución mucho más escalable.

4.2.4. MEJORA DEL ACCESO.

De nada sirve que en el núcleo de las redes se disponga de altas velocidades y capacidad para dar cabida a todo el tráfico si esto no se hace extensible al acceso, el cual se constituye como el principal cuello de botella para extender los servicios hasta los usuarios finales.

Son varias las nuevas tecnologías que se están proponiendo para aliviar esta situación. Unas tratan de explotar las características del bucle de abonado tradicional para tratar de dotarle de una mayor capacidad, como es el caso de la familia DSL, mientras que otras apuestan por nuevos medios de transmisión, como las tecnologías de acceso inalámbrico.

ADSL puede resultar la tecnología preferida por los operadores establecidos, puesto que les va a permitir reaprovechar la infraestructura de cobre y toda la red de centrales que ya tienen desplegada. Los nuevos operadores, ante los problemas que se están produciendo en lo que respecta a compartir el bucle de abonado, pueden optar por tecnologías alternativas como el acceso por medio de soluciones inalámbricas como LMDS, que además les permiten llegar al público en poco tiempo y de manera económica.



CONCLUSIONES

1. En la actualidad en el mundo existe una gran cantidad de información y ante la necesidad de transmitirla; es vital e indispensable, disponer de un Sistema de Telecomunicaciones con una capacidad considerable, para controlar la diversidad de volúmenes generados por el tipo de servicio a que se destinen.
2. La constante evolución en el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías, originan actualmente el transporte de un gran tráfico de información, con la característica de reducir los costos de implementación y operación.
3. La investigación científica en el campo de la Electrónica y de la Óptica han aumentado considerablemente la mejora del recurso denominado Ancho de Banda, en aplicaciones de Telecomunicaciones.
4. El Transporte de la información a través de las Redes de Datos actuales, presenta dos modalidades; la primera como Empresa Prestadora de Servicios, que alquila su arquitectura en forma temporal. Y la segunda como Organizaciones Oficiales o Particulares, que diseñan sus redes para un amplio tiempo de uso y las hacen migrar ante ingenios técnicos y tecnológicos. Ambas modalidades son apoyadas y fortalecidas por los constantes avances en el ámbito de las Telecomunicaciones con Fibra Óptica.
5. Haciendo una comparación entre la Fibra Óptica y el Cable de Cobre, se tiene que la Fibra maneja mayor ancho de banda; respecto a la baja atenuación de la Fibra, esta permite disminuir el uso de dispositivos repetidores, lo que implica un ahorro sustancial.
6. La Fibra Óptica no se ve afectada por la interferencia electromagnética o por sustancias corrosivas del ambiente, es ideal para ambientes industriales pesados; además de ser ligera y de un diámetro reducido.
7. La Fibra Óptica es y será por mucho tiempo el Medio de Transmisión más rápido y eficiente de las Telecomunicaciones, hasta que se desarrolle una nueva tecnología que pueda llegar a superar todas las bondades de la Fibra Óptica.
8. Todos los países están pasando por una época de cambios significativos, ocasionados por el fenómeno de la globalización debido a la aparición de nuevas tecnologías de comunicaciones lo que les impone ir al mismo ritmo de la evolución de telecomunicaciones
9. México no puede aislarse a estos cambios; más aún, debe integrarse y tomar una actitud de creador de tecnologías, no solo de seguidor de los avances extranjeros. Los recursos existen; si se consideran como piezas de rompecabezas, solo hace falta ensamblarlas.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Edward L. Safford. *Introducción a la Fibra Óptica y Láser*. Edit. Paraninfo, Madrid 1988.
2. Nerou. *Introducción a las Telecomunicaciones por Fibra Óptica*. Edit. Trillas, México 1991.
3. Juan Bedmar Izquierdo. *Telecomunicación a través de Fibras Ópticas*. Colección Técnica AHCIET-ICI, 1986.
4. Aldo N. Bianchi. *Comunicaciones Ópticas, Guía de Teoría*. Universidad de Carobobo, 1989.
5. Jardon. *Sistemas de Comunicaciones por Fibra Óptica*. Edit. Alfa-Omega, México 1995.
6. G. Mahlke / P.Gössing. *Conductores de Fibras Ópticas*. Edit. Marcombo, Alemania 2000.
7. José Martín Sanz. *Comunicaciones Ópticas*. Edit. Paraninfo, Madrid 1996.
8. Peter C. Cheo. *Fiber Optics & Optoelectronics*. Edit. Prentice Hall, 1987.
9. Dietrich Marcuse. *Light Transmission Optics*. Bell Laboratories Series, 1990.
10. Baltazar Rubio Martínez. *Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica*. Edit. Adisson Wesley.
11. Behrouz A. Forouzan. *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones*. Edit. Mc Graw Hill.
12. Uyles Black. *Redes de Computadoras, Protocolos, Normas e Interfaces*. Edit. Alfa-Omega. México 1997.
13. Academia de Networking de CISCO SYSTEMS: *Guía de 1er Año*. Madrid 2002.
14. Sanders. *LASER: Operación, equipo, uso y diseño*. Edit. Limusa.
15. Bob Chomycz. *Instalaciones de Fibra Óptica, Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones*. Edit. Mc Graw Hill.
16. Raya José Luis. *Redes Locales y TCP/IP*. Edit. Alfa-Omega.
17. Wayne Tomasi. *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Edit. Prentice Hall.



18. Parker Timothy. *Aprendiendo TCP/IP*. Traductor: Agustín Cacique. Edit. Prentice Hall Hispanoamericana, México 1997.
19. R. Díaz de la Iglesia y M. López-Amo. *Comunicaciones Ópticas*. Universidad Politécnica de Madrid ETSI, 1990.
20. José A. Martín Pereda. *Sistema y Redes Ópticas de Comunicaciones*. Edit. Pearson, 2004.
21. García Tomas y Otros. *Alta velocidad y calidad del servicio en redes IP*. Edit. Rama 2002.
22. Fred Halsall. *Comunicación de Datos, redes de computadoras y Sistemas abiertos*. Edit. Addison Wesley, 1998.
23. R. Gutiérrez-Castrejón. *Hacia un Sistema de Telecomunicaciones Completamente Óptico*. No. SD-48 de las series del Instituto de Ingeniería, UNAM 2005.
24. R. Gutiérrez-Castrejón. *Una supercarretera de cristal: la autopista de la información*. Revista Ciencia Vol. 56 No. 3, 2005.
25. B. Mukherjee. *Optical WDM Networks*. Springer, 2006.
26. J.G. Proakis. *Digital Communications*. Mc. Graw Hill, 1983.
27. A. Yariv. *Optical Electronics in Modern Communications*. Oxford University Press, Nueva York (EE.UU.). 1997.
28. Recomendación G.783. Características de los bloques funcionales de los equipos SDH.
29. Recomendación G.803. Arquitectura de las redes de transporte basadas en SDH.
30. Recomendación G.841. Tipo y características de las arquitecturas de protección de la red SDH.
31. Recomendación I.120. Red Digital de Servicios Integrados, Estructura General.
32. Recomendación G.561. Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 mm.
33. Recomendación G.562. Características de las fibras y cables ópticos monomodo.
34. ECHEVERRÍA, S.; ASTRAIN, J.J.; ALCALDE, S.; MATÍAS, L.R. Diseño de una Red Corporativa Basada en Tecnologías Gigabit Ethernet y SHDSL. [En línea] España: lsi, 2004. <<http://tdg.lsi.us.es/~sit02/res/papers/echeverria.pdf>>



35. GORALSKY, Walter. SONET/SDH. 3 ed. New York. Edit. McGrawHill, 2002.
36. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.
37. MAILXMAIL. Curso Jerarquía Digital Síncrona (SDH). [En línea] s.l.: Mailxmail, 2004. <<http://www.mailxmail.com>>.
38. MARCONI COMMUNICATIONS. Synchronous Digital Hierarchy (SDH). [En línea] s.l.: The International Engineering Consortium, 2004. <<http://www.iec.org>>.
39. Norma 568-A. Cableado Estructurado para Edificios Comerciales.
40. Norma 569. Especifica los estándares para los conductos, pasos y espacios necesarios para la instalación de sistemas estandarizados de telecomunicaciones.



GLOSARIO

Algoritmo: Regla o proceso bien definido para obtener una solución para un problema. En networking, los algoritmos se utilizan normalmente para determinar la mejor ruta para el tráfico desde un origen en particular hasta un destino en particular.

Amorfa: Sin forma regular o concretamente determinada.

Amplitud Modulada (AM): La modulación en amplitud es un método de transmitir datos sobre una portadora de corriente alterna.

Analizador de Red: Dispositivo de control de la red que mantiene información estadística con respecto al estado de la red y de cada dispositivo conectado a ella.

Analógico: Es una forma de transmitir o representar la realidad que emita aquello que representa la realidad que imita aquello que representa con infinitos términos intermedios, como hace el teléfono convencional con las características de la voz.

Ancho de Banda: Capacidad de un canal de transmitir información. En la práctica está dada siempre en unidades de Kbps o Mbps.

ANSI: Instituto Nacional de Estándares Americanos (American National Standards Institute). Es una organización que define las normas de código y los esquemas de señalización.

Arquitectura: La manera en la que un sistema (tal como una red o una computadora) o un programa está estructurado.

Atenuación: Diferencia entre la potencia transmitida y la recibida a pérdidas en los equipos, líneas u otros dispositivos de transmisión (medida en dB).

ATM: Modo de transferencia asíncrono. Tecnología de conmutación de paquetes ampliamente adoptada para redes MAN y WAN.

Autosensing: Hace referencia a la habilidad de un dispositivo de detectar las propiedades del canal de forma automática.

Axial: Relativo al eje: dirección axial.

Backbone: Éste término se acuña al corazón o columna vertebral de una red de transporte de información. Regularmente se conoce así a la red principal de una organización o que tenga los equipos y medios con mayor capacidad.

Banda Ancha: Sistema de transmisión que multiplexa varias señales independientes en un cable. En la terminología de telecomunicaciones, cualquier canal que tenga un ancho de



banda mayor de 4 KHz (canal de voz). En la terminología de las LAN, un cable coaxial en el que se usa una señalización analógica. También se denomina banda amplia.

Banda Base: Característica de una tecnología de red donde sólo se utiliza una frecuencia portadora. Ethernet es un ejemplo de una red de banda base. También denominada banda angosta.

B-ISDN: Red de servicios integrados de banda ancha. Es una extensión a la tradicional red de servicios integrados (ISDN) habilitada para grandes anchos de banda.

Bit: Es la unidad más pequeña de información y la unidad base en comunicaciones.

Bps: Bits por segundo, es la medida de la velocidad de transmisión de datos en un sistema de comunicaciones.

Broadcast: Es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

Browser: Se le conoce así a un programa cliente que “habla” protocolo HTTP. Este tipo de aplicación permite obtener recursos o contenido HTML de Internet (Navegar) por medio de dicho protocolo.

Byte: Conjunto de bits continuos mínimos que hacen posible, un direccionamiento de información en un sistema computarizado. Está formado por 8 bits.

Cabecera de ruta: Segmento que es agregado a los contenedores en SDH y que los convierte en contenedores virtuales. Este segmento trae información de la ruta y el destino del canal de datos.

Cabecera de Sección: Segmento de la trama SDH que permite llevar canales de comunicación entre equipos SDH adyacentes y hacia una estación de gestión.

Cableado: Columna vertebral de una red.

Cableado Horizontal: Elemento básico del cableado estructurado, incorpora el sistema de cableado que se extiende desde el área de trabajo de telecomunicaciones hasta el cuarto de telecomunicaciones.

Cableado Vertical: Su propósito es proporcionar interconexiones entre cuartos de entradas de servicios, cuartos de equipo y cuartos de telecomunicaciones.

Canal: Camino para la transmisión de señales entre dos o más puntos.

Carriers: Compañías de telecomunicaciones que prestan el servicio de transporte de información sobre un canal de comunicaciones propietario.



CCITT: Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, antiguo nombre del comité de normalización de las telecomunicaciones dentro de la ITU ahora conocido como ITUT.

CCTV: Circuito Cerrado de Televisión.

Centrales Tándem: Son centrales de tránsito (es decir sin abonados), a las que se conectan otras centrales, pero sin pertenecer, las centrales tándem, a la Red Jerárquica.

Centro de cómputo: Centro donde están alojados la mayoría de los recursos centralizados de cómputo de una organización. Es allí donde están alojados los servidores que tienen los aplicativos principales que dan soporte al negocio.

Closet de Comunicaciones: Es el cuarto donde llega todo el cableado estructurado y se encuentran equipos de comunicaciones.

Confidencialidad: Es un atributo de la seguridad de la información que indica que la información solo debe poder ser accedida por las personas autorizadas.

Conmutación: Proceso por el que los paquetes son recibidos, almacenados y transmitidos al puerto de destino apropiado. La secuencia de los paquetes se mantiene y el destino se establece mediante el intercambio de información de control, entre la terminal emisora y la red antes de que comience la transmisión.

Contenedor Virtual: Contenedor que almacena la información de un tributario al cuál se le ha agregado una cabecera de ruta con información sobre el destino.

Control de Flujo: Técnica de ajuste de velocidad que se utiliza en las comunicaciones de datos para impedir el bloqueo de dispositivos receptores y la pérdida de datos.

Crossconector: Equipo que tiene la capacidad de conmutar tráfico entre diferentes tramas STMN.

Cuarto de Conectorización: Cuartos donde se encuentran alojadas las terminaciones de los enlaces de fibra óptica y los equipos activos que hacen uso de estos enlaces.

Datagrama: Agrupamiento lógico de información enviada como unidad de capa de red a través de un medio de transmisión sin establecer previamente un circuito virtual. Los datagramas IP son las unidades principales de información de Internet. Los términos *trama*, *mensaje*, *paquete* y *segmento* también se usan para describir agrupamientos de información lógica en las diversas capas del modelo de referencia OSI y en varios círculos tecnológicos.

Decibel (dB): Relación entre dos parámetros utilizando logaritmos de base 10. Se utiliza debido a que facilita los cálculos cuando intervienen cantidades muy grandes y muy pequeñas.



DCE: Equipo de Comunicación de Datos. Es un dispositivo que mantiene y termina una conexión entre el equipo terminal de datos y un medio de comunicación.

Degradación: Acción y efecto de degradar o degradarse.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol, Protocolo de Configuración Dinámica de Host. Es un protocolo de red que permite a los nodos de una red IP obtener sus parámetros de configuración automáticamente. Se trata de un protocolo de tipo cliente/servidor en el que generalmente un servidor posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme éstas van estando libres, sabiendo en todo momento quién ha estado en posesión de esa IP, cuánto tiempo la ha tenido y a quién se la ha asignado después.

Dieléctrico: Sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortiguará la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

Digital: Es una forma de representar la realidad mediante unas corrientes de valores finitos formados por unos y ceros (1 y 0).

Dirección IP: Dirección de 32 bits definida por el protocolo Internet IP, se representa usualmente con notación decimal separada por puntos.

Direcciones MAC: Secuencia de números que identifica unívocamente una tarjeta de red en cualquier lugar del mundo. Son conocidas como direcciones físicas, de capa 2 o de control de acceso al medio.

Disponibilidad: Es un atributo de la seguridad de la información que indica que ésta siempre debe estar disponible o accesible solo para las personas autorizadas.

Divergencia: Situación de dos líneas o rayos que se van apartando uno de otro.

DNS: Domain Name System, Sistema de Nombre de Dominio. Es un sistema de nomenclatura jerárquica para computadoras, servicios o cualquier recurso conectado al internet o a una red privada. Este sistema asocia información variada con nombres de dominios asignado a cada uno de los participantes. Su función más importante, es traducir (resolver) nombres inteligibles para los humanos en identificadores binarios asociados con los equipos conectados a la red, esto con el propósito de poder localizar y direccionar estos equipos mundialmente.

DTE: Equipo Terminal de Datos. Es un dispositivo que transmite o recibe datos.

E1: Canal de tráfico de la jerarquía PDH Europea que tiene una capacidad de transportar 32 canales de voz.

EIA/TIA: Electronic Industry Association / Telecommunication Industry Association. Asociación de la Industria Electrónica / Asociación de la Industria de Telecomunicaciones.



Encapsulación: Consiste en la inserción de un encabezado correspondiente a un protocolo dentro de otro paquete, asociado a un protocolo distinto.

Encriptar: Alertar o codificar datos para prevenir accesos no autorizados.

Enrutador: Router. Dispositivo de capa de red que usa u o más métricas para determinar cuál es la ruta óptima a través de la cual se debe enviar el tráfico de red.

Enrutamiento: Routing. Proceso de descubrimiento de una ruta hacia el host destino. El enrutamiento es sumamente complejo en grandes redes debido a la gran cantidad de destinos intermedios potenciales que debe atravesar un paquete antes de llegar al host destino.

EoS (Ethernet over SDH): Conjunto de protocolos que permiten encapsular tráfico Ethernet sobre las tramas SDH de manera transparente para el cliente final.

Epígrafe: Cita o sentencia a la cabeza de una obra o capítulo. Resumen que se pone a veces al principio de un capítulo.

ERP (Enterprise Resource Planing): Gestión empresarial integrada. Sistema o Software administrativo que integra todas las áreas de una empresa (Como contabilidad, compras, o inventarios), mediante procesos transparentes y en tiempo real en bases de datos relacionales y centralizadas.

Estacionario: Que no sufre ningún cambio.

Estaciones de Trabajo: Computadoras conectadas a la red a través de las cuales se puede acceder a los recursos compartidos en dicha red como discos, impresoras, entre otros.

Estándar: Conjunto de reglas y regulaciones acordado por una organización oficial de estándares o por aceptación general en el mercado.

Estructura de Multiplexación: Diagrama relacional que indica como son empaquetados y multiplexados los tráficos en una jerarquía de multiplexación determinada.

Ethernet: Protocolo de transmisión en capa 2 según el modelo OSI ampliamente difundido a nivel mundial para redes LAN.

Failover: Redundancia para sobreponerse a fallas.

FDDI: Interfase de Distribución de Datos de Fibra Óptica. Se define como una topología de red de área local en doble anillo y con soporte físico de fibra óptica. Puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps y utiliza un método de acceso al medio basado en paso de testigo (token passing). Utiliza fibras multimodo y concentradores de cableado en topología física de estrella y lógica de doble anillo (anillo primario y anillo secundario). Es una red muy fiable gracias a la fibra y al doble anillo, sobre el que gira la información en direcciones opuestas.



Fibra Óptica: Medio de transmisión elaborado a partir de sílice que se basa en el principio físico de reflexión total interna. Las fibras ópticas son ampliamente difundidas por los grandes anchos de banda que soportan y las distancias de sus enlaces que son del orden de varios Kilómetros.

Fibra Óptica Monomodo: Fibra óptica menor a 10 μm de diámetro interno que elimina la dispersión modal porque solo permite la transmisión de la luz en un solo modo, por esta razón poseen un ancho de banda muy grande, en la práctica infinito comparado con los equipos de transmisión activos en la actualidad.

Fibra Óptica Multimodo: Fibra óptica de 50 μm , 62,5 μm 100 μm de diámetro interno que muy difundida para redes LAN o en campus. Su ancho de banda está limitado por la dispersión modal.

Firewall: Un ruteador lógico que crea una barrera que aísla segmentos de red y protege al resto de la red de otros incidentes; tal como, accesos no autorizados.

Firmware: Es un código de programa que se graba en las unidades de hardware de los equipos. A través del firmware los fabricantes consiguen actualizar el hardware sin cambiar el chip. Estos códigos se guardan en unos chips de memoria conocidos como PROM. Estos chips tienen la particularidad de que no se borran cuando no tienen alimentación eléctrica y pueden ser programados.

Frame: Es una unidad de transmisión lógica manejada en los niveles de enlace de datos; esta incluye, su propio control de información para direccionamiento y chequeo de error, además de la dirección de transmisión.

Frame Relay: Sistema de transporte para la transmisión de datos (paquetes) a alta velocidad mediante celdas de longitud variable.

Fluctuaciones: Cambio, variación.

Frecuencia: El número de ciclos por segundo de una onda. Se mide en Hertzios (Hz), que indican el número de cambios por segundo.

FTP: Protocolo de Transferencia de Archivos. Es un programa de transferencia de archivos en entornos TCP/IP. Se utiliza para conectarse con otro sistema y ejecutar varias órdenes de generación de listas y transferencia de archivos entre ambos sistemas.

Gamas: Escala, gradación.

GIF: Graphics Interchange File, Formato de fichero para intercambio de gráficos.

Gigabit Ethernet: Redes tipo Ethernet basadas en fibras ópticas y equipos activos que permiten transmitir anchos de banda superiores a 1Gbps en cada uno de los enlaces.

Hardware: Es la parte tangible de la computadora.



Helicoidal: De figura de hélice.

Host: Es cualquier computadora o dispositivo conectado a una red TCP/IP. Similar a un nodo, salvo que el host normalmente implica una computadora, mientras que nodo generalmente se aplica a cualquier sistema de red, incluyendo servidores o enrutadores.

Hub: Equipo para diversos tipos de cables y para diversas formas de acceso que sirve de plataforma integradora para distintas clases de cables y de arquitectura.

IEEE: Instituto Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Es una sociedad con base en Estados Unidos que desarrolla, entre otras cosas, normas para la comunicación de datos.

IGMP: Internet Group Membership Protocol. El protocolo de red IGMP se utiliza para intercambiar información acerca del estado de pertenencia entre enrutadores IP que admiten la multidifusión y miembros de grupos de multidifusión. Los hosts miembros individuales informan acerca de la pertenencia de hosts al grupo de multidifusión y los enrutadores de multidifusión sondean periódicamente el estado de la pertenencia.

Integridad: Es un atributo de la seguridad de la información que indica que la información solo puede ser modificada por las personas autorizadas.

Interfaces: Conexión que permite la comunicación entre dos o más dispositivos.

Internet: Es una malla mundial de redes de computadoras interconectadas en una única gran red de comunicaciones extendida por todo el mundo. La malla se refiere al hecho de que Internet es una red de redes que utiliza el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos.

Internetwork: Agrupamiento de redes interconectadas por routers y otros dispositivos que funciona (en general) como una sola red.

Iternetworking: Término general utilizado para referirse a la industria dedicada a la conexión de redes entre sí. Este término se refiere a productos, procedimientos y tecnologías.

Intranet: Red de uso privado que emplea los mismos estándares y herramientas que Internet.

ISDN: Integrated Services Digital Network, Red Digital de Servicios Integrados. Red utilizada para transmitir servicios de voz y datos por la misma infraestructura de cobre que usa la telefonía convencional.

ISO: Organización Internacional de Normalización. Una organización que establece estándares (normas) internacionales de comunicaciones e intercambio de información, fundada en 1946 con sede en Ginebra.



Isotrópicas: Isotropo; dicese de los cuerpos cuyas propiedades físicas son idénticas en todas las direcciones.

ITUT: Sector de normalización de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Se formó en 1993 para reemplazar al CCITT y su sede está ubicada en Génova, Suiza.

Jerarquía: Red ordenada de conceptos u objetos en la cual unos están subordinados a otros.

Jerarquía Digital: Se refiere al nivel de multiplexación utilizado en alguna jerarquía de multiplexación. Por ejemplo, STM1 o STM4 para SDH.

Jitter: Se denomina así a la medida de variación de retraso entre paquetes consecutivos para un determinado flujo de tráfico. Posee un efecto pronunciado en aplicaciones sensibles al retraso en tiempo real, como voz y video.

LAN: Red de Área Local.

Latencia: Tiempo de permanencia de un tráfico dentro de una red de transporte. De manera práctica se refiere al tiempo que tarda un segmento de tráfico en llegar a su destino.

LED: Diodo emisor de luz. Se usa en los equipos de red para dar indicaciones luminosas de su estado.

LLC: Logical Link Control, Control de Enlace Lógico. La más alta de las dos subcapas de enlace de datos definidas por el IEEE. La subcapa LLC maneja el control de errores, control de flujo, entramado y direccionamiento de subcapa MAC.

MAC: Medium Access Control, Control de Acceso al Medio. Parte de la capa de enlace de datos que incluye la dirección de 6 bytes (48 bits) del origen y del destino, y el método para obtener permiso para transmitir.

Mbps: MegaBits por Segundo. Es una unidad de medida de la velocidad de transferencia de datos. Un Megabit por segundo significa que se transfieren 1,048,576 (1,024 *1,024) bits cada segundo.

Modelo OSI: Modelo de siete capas definido por la ISO que deben cumplir todos los elementos de una red de telecomunicaciones y que permite separar funciones en cada uno de los niveles.

Módem: Modulador/Demodulador. Equipo que permite transmitir ráfagas de datos por una red telefónica convencional.

Modulación: Proceso de manipular de manera controlada las propiedades de una señal portadora para que contenga la información que se va a transmitir.

MAN: Red de Área Metropolitana.



Matriz de crossconexión: Elemento conmutador interno que tienen los equipos Crossconectores en una red SDH y que permite conmutar tráfico entre diferentes canales de tributario y agregado.

MIB: Management Information Base o Base de Información de Gestión. Banco de datos de parámetros de la red usados por SNMP y CMIP (Common Management Information Protocol o Protocolo de Información de Gestión Común) para supervisar y cambiar los parámetros de los dispositivos. Proporciona una nomenclatura lógica para todos los recursos de información de la red que son pertinente para la gestión de la red.

Multicast: Es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente, usando la estrategia más eficiente para el envío de los mensajes sobre cada enlace de la red sólo una vez y creando copias cuando los enlaces en los destinos se dividen.

Multimedia: Información digitalizada que combina texto, gráficos, imagen fija y en movimiento, así como sonido.

Multiplexación Digital: Este concepto se asocia al aprovechamiento que se hace de un canal de comunicaciones en el que se transportan señales digitales. El objetivo de la multiplexación digital es aumentar la frecuencia con que se transmiten los datos por un canal haciendo que éste pueda ser usado por varios tráficos independientes en intervalos o ranuras de tiempo diferentes llamados time slots.

Multiplexor: Equipo que tiene la capacidad de multiplexar varios canales de tributario sobre un mismo medio de transmisión.

Networking: Interconexión de estaciones de trabajo, dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, unidades de disco duro, escáneres y CD-ROM) y otros dispositivos.

Nodo: Cada una de las computadoras individuales u otros dispositivos de la red. Punto de conexión de una red.

Nodo SDH: Lugar lógico y geográfico de una red SDH donde es posible ingresar o extraer tráfico para hacer uso de la red.

Nombre de Dominio: Domain Name, un nombre de dominio es un nombre de texto añadido al nombre del servidor para formar un único nombre de máquina para Internet.

ODF: Distribuidor de fibra óptica.

OTDR: Equipo que realiza mediciones de atenuación en un enlace de fibra óptica.

Paquete: Un conjunto de datos manipulados por una red en un formato bien definido que incluye un encabezado y un campo de datos.

Patchcords: Elementos que permiten interconectar enlaces de cableado.



Payload: Área de carga de una trama SDH.

Periférico: Cualquier dispositivo de hardware conectado a una computadora.

PCM: Modulación por codificación de pulsos.

PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona.

Perturbaciones: Alteración, disturbio.

Pigtail: Segmento de fibra óptica enrollado adaptado al conector de fibra óptica que es usado para conectar fácilmente con la fibra que viene de un enlace.

Polímero: Dícese de un cuerpo químico obtenido por polimerización. Unión de varias moléculas idénticas para formar otra mayor (en la información).

Portadora: Carrier. Señal continua de frecuencia fija, capaz de ser modulada por otra señal que cont

Protocolo: Conjunto de reglas que posibilitan la transferencia de datos entre dos o más computadoras.

Puerto: Enchufe o punto de conexión para un cable.

QoS: Quality of Service, Calidad de Servicio. Medida de desempeño de un sistema de transmisión que refleja su calidad de transmisión y disponibilidad de servicio.

Rack: Gabinete donde se almacenan equipos informáticos y de telecomunicaciones.

Radial: Adj: Se aplica a la dirección del rayo. Mov: Velocidad radial.

Red: Una red de computadoras es un sistema de comunicaciones de datos que enlaza dos o más computadoras y dispositivos periféricos.

Red de Transporte de Información: Red que transporta gran cantidad de tráfico de datos y de aplicaciones de tiempo real sobre una misma infraestructura a sedes o lugares geográficamente distantes.

Regenerador: Equipo que toma las señales de datos y de sincronismo de el medio y los reconstruye para volverlos a transmitir.

Remanencia: Propiedad de los cuerpos ferromagnéticos de conservar cierta imantación de la supresión de campo magnético.

RMON: Remote Monitoring. El MIB (Management Information Base) de monitoreo remoto que permite que un dispositivo de red sea configurado y leído a distancia.



Señalización: Es el intercambio de información o mensajes dentro de una red de telecomunicación para controlar, establecer, conmutar, encaminar, supervisar y gestionar sus comunicaciones.

Servidor: Computadora que proporciona servicios a las estaciones de trabajo de la red tales como almacenamiento de discos, acceso a las impresoras, unidades para respaldo de archivos, acceso a otras redes o computadoras centrales.

SC/APC: Conector de fibra óptica de una sola pieza que utiliza una manga zircónica y una chaqueta reforzada. La fibra que lleva además se encuentra perfilada con un pulido angular que reduce las pérdidas por inserción.

SDH: Jerarquía Digital Síncrona.

Seguridad de la Información: La seguridad de la información consiste en asegurar que los activos de información de una organización son usados de la manera que se decidió. En otras palabras, conservan sus atributos de confidencialidad, integridad y disponibilidad.

Sistema de Administración de Red: Network Management System. Sistema completo de equipos que se utiliza para monitorear, controlar y administrar y red de comunicaciones de datos.

SNMP: Simple Network Management Protocol, Protocolo simple de gestión de redes. Por medio de este protocolo se pueden recuperar variables que son constantemente monitorizadas para los equipos de red.

Software: Conjunto de programas, documentos, procesamientos y rutinas asociadas con la operación de un sistema de computadoras; es decir, la parte intangible de la computadora.

SONET: Red óptica síncrona (Synchronous Optical Network). Estándar similar y compatible en algunos niveles con SDH difundido en Norteamérica. Es la especificación ANSI para las transmisiones de fibra óptica y define la infraestructura global genérica para la transmisión síncrona y asíncrona.

STM: Módulo de transporte síncrono. Trama básica SDH.

STMN: Se refiere a los niveles de jerarquía de una red SDH.

Subestación de Energía: Lugar donde se realiza conversión de voltajes y corrientes de los altos que vienen de las líneas de transmisión a unos más bajos que sirven para alimentar circuitos de menor potencia.

Switch: Elemento de una red Ethernet que conmuta paquetes de acuerdo a las direcciones MAC de origen y destino.

TCP/IP: Transmisión Control Protocol / Internet Protocol. Protocolos de capa 3 y 4 que permite crear redes de datos sobre el cual ha crecido Internet.



Telnet: Protocolo de terminal remota.

Throughput: Es la cantidad de bits transmitidos en un determinado periodo de tiempo. Por lo general, este término se relaciona con el aprovechamiento del ancho de banda.

TMN: Red de gestión de redes de telecomunicaciones.

Tokenring: Es una tecnología de redes de área local (LAN) desarrollada y promovida por IBM al inicio de los años 80's y normalizada como IEEE 802.5. Al principio fue muy exitosa, pero cayó en declive luego de la introducción del muy usado estándar de cableado 10BASET para Ethernet al inicio de los años 90's.

Topología: La forma abstracta de la disposición de componentes de red y de las interconexiones entre sí. La topología define la apariencia física de una red.

Torunda: Bolita de algodón o gasa empleada en la aplicación tópica de medicamentos.

Tracción: Fuerza que obra axialmente en un cuerpo y tiende a alargarlo.

Transversal: Perpendicular a una dirección principal.

Trama: Tira de bits con un formato predefinido usado por protocolos.

Tributario: Tráfico que actúa como cliente de la red SDH y que es multiplexado para ser transportado sobre ella.

Unidad tributaria o administrativa: Hace referencia a contenedores virtuales que llevan tráfico de tributario y a los cuales se les ubica con el uso de un apuntador o puntero.

Usuario: Cualquier individuo que interactúa con la computadora a nivel de aplicación. Los programadores, operadores y otro personal técnico no son considerados usuarios cuando trabajan con la computadora a nivel profesional.

VLAN: redes LAN virtuales. Método que permite transportar varias redes LAN sobre la misma infraestructura.

WAN: Red de Área Amplia.

Web: Servidores de Internet que contienen la información disponible para los usuarios de la red.

WWW: World Wide Web. Malla Extensa Mundial, proporciona servicios de localización de información mediante la utilización de enlaces de hipertexto que conectan un documento con otro.



ANEXOS

ANEXO A. MEDIDAS DE SEGURIDAD.

ANEXO B. TOPOLOGÍA DE REDES.

ANEXO C. VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CABLEADO.

ANEXO D. NORMAS ESTABLECIDAS PARA LOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE REDES.



MEDIDAS DE SEGURIDAD

- ↪ Siempre que se trabaje con fibras ópticas se debe tener un cuidado especial, para poder mantener el entorno de trabajo seguro y ágil.
- ↪ Debemos tener cuidado con los miembros de refuerzo de un cable de fibra óptica cuando lo estemos instalando, ya que puede almacenar mucha energía elástica, por lo cual puede dar un latigazo y causarnos daño.
- ↪ Cuando realizamos los conectores de un cable óptico y cuando retiramos el gel de relleno, se requiere de líquidos y solventes para limpiar las fibras, estos son tóxicos y pueden ser altamente inflamables causando problemas respiratorios. Por lo que se debe trabajar en lugares bien ventilados y no permitir encender fuego en el área de trabajo.
- ↪ Cuando se realiza el procedimiento de pelado y corte de las fibras, el personal debe usar gafas y guantes de seguridad apropiados, ya que herramientas como peladoras, navajas ó cortadoras pueden hacer volar pequeños trozos de fibras.
- ↪ Los pequeños trozos de fibra que resulten del proceso de corte y pelado deben ser depositados inmediatamente en un contenedor, ya que pueden dañar fácilmente el ojo o pinchar la piel.
- ↪ Cuando realicemos un empalme por fusión, se debe tener en cuenta que la chispa eléctrica que genera la empalmadora de fusión puede causar una explosión en presencia de gases inflamables, por lo cual la empalmadora de fusión nunca se debe ocupar en áreas cerradas o dentro de arquetas.
- ↪ Se debe tener cuidado extremo al trabajar con equipos con fuentes de poder láser (Fuentes de luz, OTDR, transmisores, entre otras), ya que este tipo de luz no es visible al ojo humano y puede ocasionar severos daños, como causar ceguera.
- ↪ Nunca se debe mirar el núcleo de un conector, si no sé está seguro de que la vía óptica este desconectada o inhabilitada.

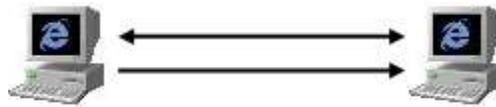


TOPOLOGÍA DE REDES

Una red es una colección de nodos conectados ó enlazados entre ellos, existen nodos centrales y nodos intermedios. Las redes deberían ser configuradas para dotar al sistema de la suficiente flexibilidad y versatilidad que permita obtener todos los beneficios de la fibra óptica. La manera en la cual están conectados estos nodos se le llama topología. Las topologías más comúnmente usadas son las de:

- 1) Punto a punto.
- 2) Estrella.
- 3) Bus.
- 4) Anillo.
- 5) Árbol.

- 1) **Punto a punto.** Una topología punto a punto enlaza directamente dos dispositivos entre sí. Las aplicaciones incluyen enlaces de radio de dos vías, enlaces satelitales, módem, etc.



- 2) **Estrella.** Una topología en estrella es una configuración de enlaces punto a punto que tiene todos los nodos integrantes de la red con un nodo en común. La mayor aplicación de esta topología son los sistemas telefónicos PBX.



TOPOLOGIA EN ESTRELLA

- 3) **Bus.** En una topología en bus, los nodos se conectan a un bus común de transmisión. En este bus, la transmisión tiene lugar en ambas direcciones. Cuando un dispositivo transmite información, todos los demás dispositivos reciben la información al mismo tiempo y su mayor aplicación es Internet.



- 4) **Anillo.** Una topología en anillo tiene todos los nodos conectados uno tras otro hasta que el último nodo se conecte con el primero. La desventaja de esta topología es que la transmisión es unidireccional, pero si se usan dos anillos de transmisión en diferente dirección proporciona autoprotección a la red en caso de que falle un cable o un nodo. Las aplicaciones de esta topología son en token ring y en señales broadcast



- 5) **Árbol.** Son redes en bus más complejas, que consisten en una serie de bifurcaciones que convergen indirectamente en un punto central denominado cabecera y tiene un único camino de comunicación entre dos estaciones cualesquiera. Esta topología suele utilizarse en redes grandes, como en entidades bancarias.





VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CABLEADO.

Cuando se desarrolla un proyecto de cableado, normalmente se piensa que el trabajo culmina con la instalación de las salidas en los sitios de trabajo, lo cual es totalmente erróneo. Durante las jornadas de trabajo que involucra el implantar un sistema de cableado estructurado, los medios de transmisión, en este caso los diferentes tipos de cables empleados, pueden verse involucrados en situaciones en las cuales su composición física sufra algún deterioro o simplemente ser objeto de una inadecuada conectorización que afecte al rendimiento del sistema.

Con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento de estos sistemas, es requisito obligatorio el aplicar una serie de pruebas al medio físico una vez que ha sido totalmente instalado. El objetivo de estas pruebas es el de asegurar tanto el correcto enlace físico como cuidar algunos factores inherentes a cada tipo de cable que pudieran afectar el flujo de información, además de detectar oportunamente posibles perturbaciones provocadas por equipos o instalaciones no vinculadas pero que ocupan espacios contiguos.

Al trabajar con diferentes tipos de cable, las pruebas aplicables a estos varían dependiendo de su constitución. Los conductores de núcleo de cobre requieren un número mayor de aspectos a comprobar que los de fibra óptica por las características físicas de cada uno de ellos; es decir, existen un mayor número de factores que afectan a un cable de cobre que a una fibra óptica.

Al ser los sistemas de cableado estructurado un concepto totalmente estandarizado, los diagnósticos aplicados a estos deben cumplir los requerimientos estipulados en los documentos respectivos de TIA/EIA: TSB-67 para cable UTP y TSB-72 para fibra óptica.

Prueba de Cableado de Fibra Óptica.

La prueba de atenuación es la única requerida para un sistema de fibra óptica. Esta se lleva a cabo empleando un medidor de intensidad y una fuente de luz. El método de medición de atenuación de la fibra óptica está compuesto por tres pasos.

Antes de iniciar la descripción de este procedimiento es importante señalar que las pruebas se deben realizar a las dos longitudes de onda 850 nm y 1300 nm para el caso de las fibras ópticas multimodo con el fin de cumplir los requerimientos de los estándares de ANSI/TIA/EIA.

Paso 1

Se coloca una conexión de fibra óptica del medidor a la fuente de luz seleccionando una longitud de onda específica.

El valor obtenido (VR1) se registra.



Una vez terminada la medición no se debe retirar la conexión ya que se podría perder la calibración del medidor.

Paso 2

Se coloca una segunda conexión en la entrada del medidor y se une con la primer conexión que aún se encuentra en la fuente de luz por medio de un acoplador.

De aquí se obtiene una segunda lectura (VR2). Para continuar con la prueba:

$(VR1-VR2) \leq 1 \text{ db}$, de lo contrario es necesario reemplazar la segunda conexión.

Paso 3

Se procede a situar la fuente en un extremo del enlace y el medidor del otro, conservando cada una de las conexiones empleadas para su calibración. El valor de la medición debe estar comprendido dentro de las especificaciones marcadas en el cuadro siguiente:

λ	Atenuación Máxima	Ancho de Banda Mínimo
850 nm	3.75 dB/km	160 Mhz
1300 nm	1.5 dB/km	500 Mhz



NORMAS ESTABLECIDAS PARA LOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE REDES.

La aprobación de estándares comunes posibilita que los procedimientos se puedan realizar de igual forma en distintos países y zonas, con las posibilidades de entendimiento y cooperación que ello supone. Por lo general, las organizaciones responsables de la normalización suelen ser agencias nacionales, ya sean estatales o entidades en las que se ha delegado esa potestad; no obstante, existe un gran número de asociaciones especializadas en un sector y de federaciones que agrupan a organismos nacionales o regionales. Su objetivo es favorecer el desarrollo de la normalización en el mundo, mediante el intercambio de experiencias y servicios y la cooperación científica, técnica y económica.

El ITU, Sector de Normalización de Telecomunicaciones (ITU-T) es uno de los tres sectores de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). ITU-T fue creado en marzo 1 de 1993 dentro del framework del nuevo ITU, reemplazando al anterior Telégrafo Internacional y Comité Consultivo Telefónico (CCITT) quien se origina alrededor de 1865. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial, lo que lo hace el adecuado para sentar las bases de las redes de telecomunicaciones.

La Unión fue establecida como una organización imparcial e internacional dentro de la cual el sector privado y gubernamental pueden trabajar juntos para coordinar la operación de las redes de telecomunicación y servicios y adelantar el desarrollo de tecnología de comunicaciones. Mientras la organización permanece relativamente desconocida al público general, el trabajo de las ITU's sobre más de cien años ha ayudado a crear una red global de telecomunicaciones que ahora integra una enorme escala de tecnologías. Es por ello que se hace conveniente normalizar las redes de telecomunicaciones de acuerdo a la ITU, ya que esto permite a diferentes organizaciones estar comunicadas mundialmente, pues es la Unión Internacional de Telecomunicaciones la que se encarga de que estos procedimientos sean llevados en todo lugar siguiendo las normas establecidas, evitando así posibles problemas de comunicación.

El trabajo de normalización es llevado por 14 grupos de estudio, los cuales son representativos de la asociación ITU-T en el desarrollo de Recomendaciones para los diversos campos de telecomunicaciones internacionales sobre las bases del estudio de ciertos aspectos (por ejemplo, áreas para estudio).

Actualmente, más de 2600 Recomendaciones en 60,000 páginas están vigentes. Las Recomendaciones no están vinculadas a normalizarse de acuerdo a consenso en grupos de estudio técnico. Aunque estas Recomendaciones ITU-T no están vinculadas, hay generalmente conformidad debido a que su alta calidad garantiza la interconectividad de redes y facilita servicios de telecomunicaciones para ser proveídos en una escala mundialmente amplia.



Estructura.

La asamblea de Normalización de Telecomunicaciones Mundial (WTSA), que toma lugar cada cuatro años, define la política general para el Sector, establece los grupos de estudio y aprueba su programa de trabajo para cada periodo de estudio de cuatro años.

El Grupo Consultivo de Normalización de Telecomunicaciones (TSAG), revisa prioridades, programas, operaciones, asuntos financieros y estrategias para el Sector, continua la realización del programa de trabajo, reestructura y establece grupos de estudio ITU-T, provee pautas a los grupos de estudio, elabora series de Recomendaciones sobre procedimientos de organización y trabajo.

La ITU-T, Grupos de estudio de Normalización de Telecomunicaciones (SG) y sus partes de trabajo estudian los Aspectos y elaboran las Recomendaciones.

Red de Gestión de Telecomunicaciones (RGT) – TMN.

Las Recomendaciones relativas a la RST (Red de Gestión de Telecomunicaciones), en inglés TMN (Telecommunications Management Network), describen los principios, la arquitectura, las definiciones, y las especificaciones necesarias para implementar todo tipo de redes de gestión de las telecomunicaciones.

Las RGT proporcionan los medios empleados para transportar, almacenar y procesar la información utilizada como soporte de la gestión de redes y servicios de telecomunicaciones. Pueden utilizarse para la gestión de redes de telecomunicaciones explotadas por las Administraciones, las ROA, los clientes u otras organizaciones e individuos. Cuando estas redes de telecomunicaciones se conectan entre sí, sus RGT proporcionan la manera de intercambiar la información necesaria para gestionar servicios de telecomunicación de extremo a extremo.

Todos los tipos de redes de telecomunicación y elementos de redes, por ejemplo redes analógicas, redes digitales, redes públicas, redes privadas, sistemas de conmutación, sistemas de transmisión, soporte lógico de las telecomunicaciones y recursos lógicos de la red (tales como un circuito, un trayecto o servicios de telecomunicación sustentados por esos recursos), son susceptibles de ser gestionados por una RGT.

El estudio de la RGT en el UIT-T tuvo su origen en la definición de interfaces y la especificación de protocolos de interface entre sistemas de operaciones y terminales de transmisión. Pronto se estableció que el concepto de RGT incluyera la elaboración de Recomendaciones relativas a las redes de información que actúan como soporte de la gestión de todas las redes y servicios de telecomunicaciones.

Se prevé, por consiguiente, que la elaboración de las Recomendaciones relativas a la RGT se extienda durante un largo periodo, para satisfacer las crecientes demandas resultantes de unas redes y unos servicios de telecomunicaciones en continua evolución.

La arquitectura de la RGT comprende tres aspectos básicos a saber:



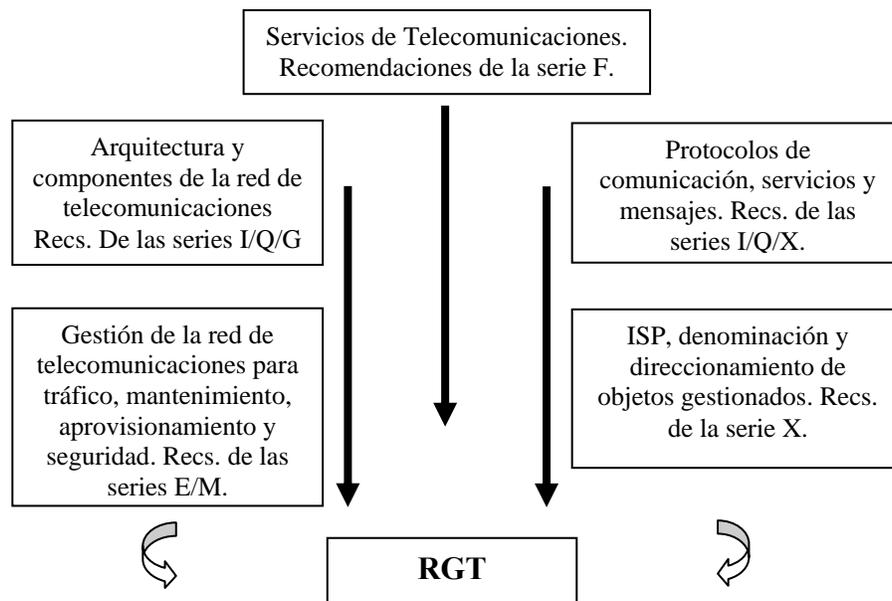
- La arquitectura funcional de la RGT
- La arquitectura de información de la RGT
- La arquitectura física de la RGT

La arquitectura funcional de la RGT describe la distribución apropiada de la funcionalidad dentro de la RGT, apropiada en el sentido de permitir la creación de bloques de funciones a partir de los cuales pueda ser implementada una RGT, cualquiera que sea su complejidad. La definición de bloques de funciones y puntos de referencia entre ellos lleva a los requisitos de las especificaciones de las interfaces recomendadas de la RGT.

La arquitectura de información de la RGT, basada en un planteamiento orientado al objeto, da el fundamento de la aplicación de los principios de gestión de sistemas OSI a los principios de la RGT. Se establece la correspondencia entre principios de gestión de sistemas OSI y principios de la RGT y, cuando es necesario se amplían aquellos para atenderse al entorno RGT.

La arquitectura física de la RGT describe interfaces que pueden ser implementadas de hecho y ejemplos de los componentes fijos que constituyen la RGT.

En el ITU-T se están elaborando Recomendaciones relacionadas con la RGT. Se ha establecido la correspondencia entre algunas de estas y las áreas temáticas de la RGT, como se muestra en la figura.



Correspondencia de las Recomendaciones a las que se hace referencia en el contexto de la RGT.

Los temas de las Recomendaciones a las que se hace referencia en el contexto de la RST se exponen a continuación a modo de guía para la selección de las Recomendaciones a las que hay que referirse.



Servicios de Telecomunicaciones.

Los servicios de telecomunicaciones se definen en Recomendaciones UIT-T y las Recomendaciones relativas a la RGT habrán de referirse a esas Recomendaciones como base para la elaboración de Recomendaciones RGT que traten de la gestión de servicios de telecomunicaciones.

Arquitectura de la red de telecomunicaciones.

La arquitectura de la red de telecomunicaciones proporciona la estructura fundamental de una red de telecomunicaciones. A la arquitectura de red de telecomunicaciones pueden referirse, sobre todo, las Recomendaciones que traten de temas de modelado de información de gestión de red para dar la idea fundamental de la abstracción de la red de telecomunicaciones.

Gestión de la red de telecomunicaciones para tráfico.

La gestión del tráfico de la red de telecomunicaciones es una de las áreas importantes de aplicación de la RGT y las Recomendaciones relativas a los requisitos de la RGT harán referencia a las Recomendaciones que traten de la gestión del tráfico.

Mantenimiento de la red de telecomunicaciones.

El mantenimiento es una de las principales categorías de los servicios de gestión de la RGT y, cuando se elaboren Recomendaciones relativas a los requisitos de gestión de la RGT, se hará referencia a las Recomendaciones que versen sobre este tema.

Seguridad de la red de telecomunicaciones.

Hay dos aspectos de la seguridad a saber, la seguridad de la gestión y la gestión de la seguridad. Cuando se estudie la seguridad de la RGT se tendrán en cuenta las Recomendaciones relativas a la seguridad de la red. También se hará referencia a dichas Recomendaciones cuando se elaboren Recomendaciones relativas a los requisitos de la RGT para la gestión de la seguridad de la red de telecomunicaciones.

Componentes de la red de telecomunicaciones.

Las Recomendaciones relativas a componentes de la red de telecomunicaciones, tales como sistemas de transmisión y sistemas de conmutación, describen las funciones de los componentes que proporcionan la base del desarrollo de modelos de información de gestión de redes o componentes.

Aprovisionamiento de la red de telecomunicaciones.

Las Recomendaciones relativas al aprovisionamiento de la red de telecomunicaciones describen los mecanismos de prestación de servicios de red de telecomunicaciones a los



clientes. Cuando se elaboren Recomendaciones de la RGT relativas a los requisitos de gestión de la RGT se hará referencia a las Recomendaciones que traten de este tema.

Protocolos de comunicación.

Los protocolos de la interfaces de la RGT se seleccionan de Recomendaciones de protocolos de comunicación, tales como las relativas a la OSI, la RDSI y el sistema de señalización No. 7.

Servicios de gestión de sistemas OSI.

Las Recomendaciones relativas a la RGT hacen referencia a los servicios de gestión de sistemas OSI, definidos en las Recomendaciones de las series X.730/X.740. ISP y requisitos de implementación.

Un perfil especifica un conjunto de protocolos, incluidos los PICS disponibles, u objetos gestionados, incluidas las MOCS disponibles, combinados para proporcionar una funcionalidad específica al tiempo que se minimizan las opciones posibles. Los perfiles reconocidos internacionalmente están organizados en perfiles normalizados internacionales (ISP) que pueden incorporar declaraciones de conformidad adicionales. Los ISP constituyen la base de la preparación de las pruebas de conformidad.

Denominación y direccionamiento de objetos gestionados.

Para definir objetos gestionados de la RGT, las Recomendaciones de información de gestión de la RGT harán referencia a las Recomendaciones relativas a denominación y direccionamiento de objetos gestionados.

A continuación se presenta una tabla en la que se muestra la serie de Recomendaciones elaboradas por la ITU-T para los sistemas de Telecomunicaciones.



SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

- Serie A** Organización del trabajo del UIT-T.
- Serie B** Medios de expresión.
- Serie C** Estadísticas generales de telecomunicaciones.
- Serie D** Principios generales de tarificación.
- Serie E** Red telefónica y RDSI.
- Serie F** Servicios de telecomunicación no telefónicos.
- Serie G** Sistemas y medios de transmisión.
- Serie H** Transmisión de señales no telefónicas.
- Serie I** Red digital de servicios integrados (RDSI).
- Serie J** Transmisiones de señales radiofónicas y de televisión.
- Serie K** Protección contra las interferencias.
- Serie L** Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior.
- Serie M** Mantenimiento: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales.
- Serie N** Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión.
- Serie O** Especificaciones de los aparatos de medida.
- Serie P** Calidad de transmisión telefónica.
- Serie Q** Conmutación y señalización.
- Serie R** Transmisión telegráfica.
- Serie S** Equipos terminales para servicios de telegrafía.
- Serie T** Equipos terminales y protocolos para los servicios de telemática.
- Serie U** Conmutación telegráfica.
- Serie V** Comunicación de datos por la red telefónica.
- Serie X** Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos.
- Serie Z** Lenguajes de programación.