



INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	Introducción	1
1.2	Justificación e importancia	2
1.3	Objetivos	
1.3.1	Objetivo General	2
1.3.2	Objetivos Específicos	3
1.4	Alcance	3

CAPITULO II: Marco Teórico

2.1.	Naturaleza de la Luz	7
2.1.1	Teoría Corpuscular	7
2.1.2	Teoría Ondulatoria	7
2.1.3	Teoría Electromagnética	8
2.1.4	Teoría Cuántica	9
2.1.5	Doble Naturaleza de la luz	10
2.2	Definiciones Preliminares	10
2.2.1	Frecuencia	10
2.2.2	Longitud de Onda	11
2.2.3	Unidades de medida	11
2.2.3.1	El Decibel	12
2.2.3.2	El dBm	12
2.2.3.3	Velocidad de la luz	13
2.2.3.4	Índice de refracción	13
2.2.4	Espectro Electromagnético	13
2.2.4.1	Subdivisiones del Espectro Electromagnético	15
2.2.5	Reflexión y Refracción de la Luz	16
2.2.6	Ley de Refracción	16
2.3	Historia de la Fibra Optica	18
2.4	Fundamentos de Fibra Optica	21
2.4.1	Definición de Fibra Optica	21
2.4.2	Características de la Fibra Optica	22
2.4.2.1	Características Técnicas	22
2.4.2.2	Características Mecánicas	23
2.4.3	Ventajas de la Fibra Optica	23
2.4.3.1	Ancho de Banda	23
2.4.3.2	Atenuación	24
2.4.3.3	Aislamiento	24
2.4.3.4	Seguridad	25
2.4.3.5	Tamaño y Peso reducido	25
2.4.3.6	Estabilidad frente a variaciones de temperatura	25
2.4.3.7	Material Base Abundante	26



2.4.3.8	Fiabilidad y Mantenimiento	26
2.4.4.	Desventajas	27
2.4.4.1	Elevado Costo	27
2.4.4.2	Disponibilidad limitada de conectores	27
2.4.4.3	Conversión electro-óptica	27
2.4.4.4	Caminos Homogéneos	28
2.4.4.5	Instalación Especial	28
2.4.4.6	Reparaciones	29
2.4.5	Aplicaciones de la Fibra Optica	29
2.4.5.1	Internet	29
2.4.5.2	Redes	30
2.4.5.3	Telefonía	30
2.5	Propagación de Luz en la Fibra Óptica	30
2.5.1	Apertura Numérica	31
2.5.2	Dispersión	32
2.5.2.1	Dispersión Modal	33
2.5.2.2	Dispersión Cromática	34
2.5.2.3	Dispersión por Material	35
2.5.2.4	Dispersión de Guía de Onda	35
2.5.3	Atenuación	35
2.5.3.1	Factores Intrínsecos	36
2.5.3.1.1	Absorción Infrarroja y Ultravioleta	36
2.5.3.1.2	Esparcimiento Rayleigh	36
2.5.3.1.3	Atenuación por tramo	37
2.5.3.2	Factores Extrínsecos	37
2.5.3.2.1	Perdidas por Impurezas	38
2.5.3.2.2	Perdidas por Curvatura	38
2.5.3.2.3	Atenuación por empalme	39
2.5.3.2.4	Empalmes Atenuados	39
2.5.4	Ventanas Ópticas	41
CAPITULO III: FIBRA OPTICA		
3.1	Fabricación de la Fibra Optica	42
3.1.1	Fabricación de la Preforma	42
3.1.2	Proceso de Estirado	43
3.1.3	Aplicación de Capas Protectoras	44
3.2.	Estructura Básica de la Fibra Optica	45
3.2.1	Elementos de la Fibra Óptica	45
3.2.2	El Núcleo	45
3.2.3	Revestimiento y Manto	46
3.2.4	Recubrimiento Interno o capa primaria	46
3.2.5	Recubrimiento externo o capa secundaria	47
3.3.	Tipos de Fibra Óptica	48
3.3.1	Fibra Monomodo	49
3.3.2	Fibra Multimodo	50
3.3.3	Fibra Multimodo de índice escalonado	52



3.3.4	Fibra Multimodo de índice gradual	53
3.3.5	Fibra monomodo de índice escalonado	54
3.3.6	Fibra Monomodo por tipo de dispersión	56
3.3.6.1	Fibra no desplazada al punto de dispersión	57
3.3.6.2	Fibra desplazada al punto de dispersión	58
3.3.6.3	Fibra no desplazada a cero el punto de dispersión	58
3.3.7	Fibras por el Material	59
3.4	Cables de Fibra Optica (Construcción)	59
3.4.1	Estructura Holgada	59
3.4.1.1	Holgada Unitubo	60
3.4.1.2	Holgada Multitubo	61
3.4.2	Estructura Ajustada	62
3.4.2.1	Monofibra	63
3.4.2.2	Bifibra	63
3.4.2.3	Multifibra	63
3.4.2.4	Breakout	64
3.4.3	Diferencias entre la estructura ajustada y holgada de la fibra	65
3.4.4	Cables por aplicación	66
3.4.4.1	Cables para ductos	66
3.4.4.2	Cables de interconexión e interiores	67
3.4.4.3	Cables Aéreos	68
3.4.5	Grupos de Cables	68
3.4.5.1	Cable Intdoor	68
3.4.5.2	Cable outdoor	69
3.4.5.3	Cablesintdoor/outdoor	69
3.4.6	Especificaciones del cable de fibra óptica	69
3.4.6.1	Fiabilidad y facilidad de Instalación	69
3.4.6.2	Resistencia al fuego	70
3.4.6.3	Cables no propagadores de incendio	70
3.4.6.4	Cables resistentes al fuego	71
3.4.6.5	Cable LSHZ	71

CAPITULO IV: Instalación de la fibra óptica

4.1	Hardware de Instalación	72
4.1.1	Conectores	72
4.1.2	Tipos de Conectores	74
4.1.3	Empalmes	77
4.1.4	Acopladores	79
4.1.5	Kit de Herramientas	80
4.2	Conectorización de Fibra óptica	81
4.2.1	Preparación de cables	81
4.2.1.1	Extracción de capas Protectoras	82
4.2.1.2	Limpieza de Residuos	82
4.2.1.3	Corte de la Fibra	82
4.2.2	Conexión de la fibra mediante conectores	83
4.2.2.1	Conexión de Conectores	83
4.2.2.2	Pasos a seguir utilizando conectores	83



4.2.3	Empalme Mecánico	84
4.2.4	Empalme por fusión	86
4.3	Seguridad al Trabajar con fibra	87
4.3.1	Prevenir lesiones internas y externas	87
4.3.2	Proteger la vista	87
4.3.3	Manejo de Consumibles	88
4.3.4	Seguridad al preparar el cable	88
4.3.4.1	Seguridad en la Tensión del Cable	88
4.3.5	Seguridad al trabajar con la empalmadota de fusión	88
4.4	Instalación de los cables de fibra óptica	89
4.4.1	Elección del cable	89
4.4.2	Condiciones de instalación	89
4.4.3	Consideraciones de instalación	90
4.4.3.1	Radio Mínimo de Curvatura	90
4.4.3.2	Máxima tensión en el tendido	90
4.4.3.3	Máxima subida en vertical	91
4.4.4	Instalación de cables a interiores	91
4.4.4.1	Vertical	91
4.4.4.2	Horizontal	92
4.4.5	Instalación de cables a exteriores	92
4.4.5.1	Instalación de cables aéreos	92
4.4.5.2	Instalación canalizada	94
4.4.5.2.1	Tendido del cable utilizando aire soplado	94
4.4.5.2.2	Tendido del cable utilizando tracción controlada	95
4.4.5.2.3	Tendido del cable manualmente	96
4.4.5.3	Enterrada directamente	97
4.5	Verificación de la instalación	90
4.5.1	OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)	98
4.5.2	OTLS (Optical Loss Test Set)	99

CAPITULO V: Sistemas de comunicación por fibra óptica

5.1	Introducción	100
5.2	Equipos Ópticos	100
5.2.1	Emisores	100
5.2.1.1	Longitud de onda media	101
5.2.1.2	Ancho Espectral	101
5.2.1.3	Potencia Media	101
5.2.1.4	Frecuencia de Modulación	101
5.2.1.5	Tipos de Emisores ópticos	102
5.2.1.5.1	Diodo Led (Light Emiting Diode)	102
5.2.1.5.2	Diodo Laser	104
5.2.1.5.1	Diodo Laser Especiales	106
5.2.2	Detectores	107
5.2.1.1	Sensibilidad	108
5.2.1.2	Tasa de errores	108
5.2.1.3	Rango dinámico	108



5.2.1.4	Tipo de detectores	108
5.2.2.4.1	Fotodiodo Pin	109
5.2.2.4.2	Fotodiodo de Avallancha APD	109
5.2.2.4.3	Fototransistores	109
5.2.2.4.4	Detectores fotodarlington	109
5.2.2.4.5	Detectores PIN-FET e integrados	110
5.2.3	Multiplexores	110
5.2.4	Amplificadores Ópticos	110
5.3	Modulación	110
5.3.1	Modulación Analógica	111
5.3.2	Modulación Digital	112
5.3.3	Moduladores electro-ópticos	112
5.4	Multiplexación	114
5.4.1	Multiplexación por División de Tiempo (TDM)	114
5.4.2	Multiplexación por división en longitud de onda	115
5.4.2.1	Componentes empleados en la multiplexación	116
5.4.2.1.1	Dispositivos micro ópticos	117
5.4.2.1.2	Dispositivos de Fibra	118
5.5	Ruidos	119
5.6	Diseño de un enlace por fibra óptica	120
5.6.1	Presupuesto de potencia	121
5.6.2	Cálculo de la distancia entre regeneradores	121
5.6.2.2	Criterio de la máxima dispersión	123
5.7	Tecnologías de Redes WAN	125
5.7.1	Sonet y SDH	125
5.7.2	FDDI	126
5.7.3	ATM	127
5.7.4	GigaEthernet	128
5.8	Aplicaciones de los sistemas de transmisión ópticos	128
5.8.1	Enlaces punto – punto	128
5.8.2	Redes de distribución y difusión	129
5.8.3	Redes LAN	130

Capítulo VI: Metodología de Diseño de Redes de Fibra Óptica

6.1	Introducción	131
6.1.1	Análisis de Flujos	134
6.1.2	Análisis del Tráfico de Red	136
6.1.3	Análisis de la parte pasiva	136
6.1.4	Análisis de la parte activa	142
6.2	Metodología de Diseño de Redes de Fibra Óptica	147
6.2.1	Análisis	151
6.2.1.1	Análisis de la Situación Actual	148
6.2.1.2	Análisis de requerimientos	149
6.2.1.3	Análisis de la Parte Pasiva	150
6.2.1.4	Análisis de la Parte Activa	150



6.2.1.5	Factibilidad Económica	150
6.2.1.4	Análisis de la Parte eléctrica	150
6.2.2	Diseño Físico	151
6.2.3	Diseño Lógico	152
6.2.3.1	Sistemas Operativos	152
6.2.3.2	Sistemas de Administración de Red	153
6.2.4	Instalación de Infraestructura	153
6.2.4.1	Diagrama de Construcciones e Informes	154
6.2.5	Instalación	154
6.2.5.1	Cronograma de Trabajo	155
6.2.5.2	Informe de la Instalación	155
6.2.6	Verificación	155
6.2.6.1	Estándares	156
6.2.6.2	Informe de Verificación y Certificación	157
6.2.7	Mantenimiento	157
6.2.7.1	Políticas de Mantenimiento	158
6.2.7.2	Políticas de Administración de la Red	159
6.2.7.3	Plan de Contingencias	160
6.2.7.4	Plan de Seguridades	160

Capítulo VII: Aplicación de la metodología

7.1	Introducción	162
7.2	Análisis	162
7.2.1	Análisis de Situación Actual	163
7.2.2	Análisis de Requerimientos	165
7.2.3	Análisis de la parte pasiva	165
7.2.4	Análisis Parte Activa	167
7.2.5	Análisis Parte Eléctrica	169
7.2.6	Factibilidad	170
7.2.6.1	Factibilidad Técnica	170
7.2.6.2	Factibilidad Operativa	172
7.2.6.3	Factibilidad Económica	173
7.2.6.3.1	Estudio Costo Beneficio del Enlace	174
7.3	Diseño Físico	178
7.4	Diseño Lógico	181
7.4.1	Sistemas Operativos y Software	182
7.5	Instalación de Infraestructura	182
7.6	Instalación	183
7.7	Verificación	184
7.8	Mantenimiento	185



Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones 189

8.2 Recomendaciones 192

Bibliografía 194

Glosario de Términos 195

Anexos

Anexo A. Estándares de Redes de Fibra Óptica.

Anexo B. Normas de Cable de Fibra Óptica.

Anexo C1. Cable Figura Ocho Fibra Óptica.

Anexo C2. Conector Fibra Óptica.

Anexo C3. Patchcord Fibra Óptica.

Anexo D1. Switch 3Com 4050.

Anexo D2. Switch 3Com 4228G.

Anexo D3. 3Com 1000BASE-LH70 GBIC Transceiver.

Anexo E. Situación Actual de la Espe.

.



INDICE TABLAS

Tabla. 2.1	Índice de Refracción	13
Tabla. 2.2	Comparación entre cable de 16 fibra y cable coaxial de 8 tubos	27
Tabla. 2.3	Pérdida de la potencia de señal óptica	40
Tabla. 3.1	Cuadro comparativo de los tipos de fibra	56
Tabla. 3.2	Parámetros de cables holgado y ajustado	66
Tabla. 4.1	Comparación entre conectores y empalmes	78
Tabla. 5.1	Características de diodo led	103
Tabla. 5.2	Características del láser	105
Tabla. 5.3.	Diferentes Tipos de ruidos que existen en la fibra óptica	120
Tabla. 5.3.	Jerarquía de Llamadas Telefónicas	126
Tabla. 5.4	Jerarquía SONET / SDH	126
Tabla. 6.1	Propiedades de los tipos de fibra	137
Tabla. 6.2	Características de los cables según su aplicación	138
Tabla. 6.3	Características de Patchcords	139
Tabla. 6.4	Características Tipos de conectores	141
Tabla. 7.1	Requerimientos de cable	167
Tabla. 7.2	Requerimientos de switch	168
Tabla. 7.3	Requerimientos de módulos GBIC	169
Tabla. 7.4	Plan de contingencias parte eléctrica	170
Tabla. 7.5	Comparación Técnica entre Enlace Microonda y Fibra Óptica	172
Tabla. 7.6	Factibilidad Económica	173
Tabla. 7.7	Ingresos y Egresos Anuales del Proyecto	174
Tabla. 7.8	Relación Costo Beneficio	175
Tabla. 7.9	Cálculo de la Tasa Interna de retorno	177
Tabla. 7.10	Cálculo del Período de Recuperación de la Inversión	178
Tabla. 7.11	Costo de las dos opciones de enlace	181
Tabla. 7.12	Cronograma de Instalación de Infraestructura	183
Tabla. 7.13	Cronograma de Instalación de Fibra Óptica	184
Tabla. 7.14	Esquema de presentación de informe de verificación	185
Tabla. 7.15	Esquema del plan de mantenimiento	186
Tabla. 7.16	Plan de Contingencias	187



INDICE FIGURAS

Figura. 2.1	Unidad de medida (micrón)	12
Figura. 2.2	Espectro Electromagnético	14
Figura. 2.3	Longitud de onda de la fibra óptica dentro del espectro	15
Figura. 2.4	Reflexión y Refracción	16
Figura. 2.5	Ley de Refracción	17
Figura. 2.6	Luz del Sol reflejada en Espejos	18
Figura. 2.7	Telégrafo Óptico	18
Figura. 2.8	Experimento de Tindall	19
Figura. 2.9	Conducción de luz a través de tubos	20
Figura. 2.10	Fotófono de Graham Bell	20
Figura. 2.11	Fibra Óptica	22
Figura. 2.12.	Reflexión Total de la Fibra Óptica	31
Figura. 2.13	Apertura Numérica	32
Figura. 2.14	Dispersión de Ondas	33
Figura. 2.15	Tipos de Dispersión	33
Figura. 2.16	Dispersión Modal	34
Figura. 2.17	Atenuación por Tramo	37
Figura. 2.18	Pérdida por Curvatura	38
Figura. 2.19	Causales de Atenuación geométrica en empalmes	40
Figura. 2.20	Ventanas Ópticas	41
Figura. 3.1	Proceso de producción de la fibra	42
Figura. 3.2	Proceso de fabricación de la preforma	43
Figura. 3.3	Estiramiento y recubrimiento	44
Figura. 3.4	Bobinas de fibra	44
Figura. 3.5	Estructura Básica de la Fibra	45
Figura. 3.6	Estructura general de la fibra ajustada y holgada	47
Figura. 3.7	Revestimiento de cable de Fibra Optica	48
Figura. 3.8	Estructura y Dimensiones de la Fibra Optica	49
Figura. 3.9	Fibra monomodal	49
Figura. 3.10	Fibra multimodal	50
Figura. 3.11	Fibra con salto de índice	51
Figura. 3.12	Fibra con índice graduado	51
Figura. 3.13	Multimodo de índice escalonado	52
Figura. 3.14	Características de fibra multimodo índice escalonado	53
Figura. 3.15	Fibra Multimodo de Índice Gradual	53
Figura. 3.16	Características fibra multimodo índice gradual	54
Figura. 3.17	Fibra Monomodo de índice escalonado	55
Figura. 3.18	Características Fibra monomodo índice escalonado	55
Figura. 3.19	Dispersión y Longitud de Onda	57
Figura. 3.20	Construcción Ajustada y Holgada	59
Figura. 3.21	Fibra losse Tube	60
Figura. 3.22	Tipo de fibra holgada	60
Figura. 3.23	Estructura Holgada Unitubo	61
Figura. 3.24	Estructura Holgada Multitubo	61
Figura. 3.25	Estructura Ajustada	62
Figura. 3.26	Fibra Tigh Buffered	62



Figura. 3.27	Estructura ajustada Monofibra	63
Figura. 3.28	Estructura Ajustada Bifibra	63
Figura. 3.29	Estructura Ajustada Multifibra	64
Figura. 3.30	Estructura Ajustada Break Out	64
Figura. 3.31	Cables loose tube con diferentes números de fibras	65
Figura. 3.32	Cable fibra óptica para ductos	67
Figura. 3.33	Cable de interconexión e interiores	67
Figura. 3.34	Cable aéreo figura 8	68
Figura. 4.1	Partes de un conector de fibra óptica	73
Figura. 4.2	Tipos de Conectores de fibra	77
Figura. 4.3	Acoples o adaptadores de fibra	79
Figura. 4.4	Kit de Herramientas	80
Figura. 4.5	Herramientas de pulir y limpieza	80
Figura. 4.6	Extracción de capas	82
Figura. 4.7	Limpieza del cable	82
Figura. 4.8	Cortadora de fibra	83
Figura. 4.9	Realización de un conector	84
Figura. 4.10	Splice para empalme mecánico	85
Figura. 4.11	Introducción de las fibras en el splice	85
Figura. 4.12	Empalmadora de fusión	86
Figura. 4.13	Vista de la fibra por el microscopio	86
Figura. 4.14	Curvatura en instalación de fibra óptica	90
Figura. 4.15	Cable de fibra óptica en interiores	91
Figura. 4.16	Preparación de equipo	92
Figura. 4.17	Lazo de expansión en poste	93
Figura. 4.18	Colocación de cajas de empalme	93
Figura. 4.19	Colocación del cable por tracción controlada	95
Figura. 4.20	Instalación por canalización en forma manual	96
Figura. 4.21	Reserva del cable en anillo	96
Figura. 4.22	Identificación de empalmes	97
Figura. 4.23	OTDR	99
Figura. 5.1	Diagrama de bloques de un sistema de comunicación	100
Figura. 5.2	Espectro de un led	103
Figura. 5.3	Espectro de un láser	104
Figura. 5.4	Curva de emisión de un led y un diodo láser	105
Figura. 5.5	Reflexión de Bragg	106
Figura. 5.6	DBF y DBR	107
Figura. 5.7	Modulación Analógica	111
Figura. 5.8	Modulación Digital	112
Figura. 5.9	Modulador Electro óptico	113
Figura. 5.10	Modulador de Amplitud	113
Figura. 5.11	Multiplexación	114
Figura. 5.12	Multiplexación TDM	115
Figura. 5.13	WDM	115
Figura. 5.14	Acopladores	118
Figura. 5.15	Sonet TDM	125
Figura. 5.16	FDDI	127
Figura. 5.17	Enlace punto – punto con regeneradores	129
Figura. 5.18	Topología de hub y bus	130
Figura. 5.19	Topología en anillo y estrella	130



Figura. 6.1	Modelos de flujos	135
Figura. 6.2	Definición de potencia óptica en el receptor	144
Figura. 6.3	Utilización de equipos activos	145
Figura. 7.1	Distribución de red de fibra óptica Campus Sangolquí	163
Figura. 7.2	Enlace entre la ESPE y el IASA	165
Figura. 7.3	Distancia entre la ESPE Sangolquí y el IASA	180
Figura. 7.4	Diagrama Físico de la Red	181
Figura. 7.5	Diagrama Unifilar.	181



INDICE ECUACIONES

Ecuación. 2.1	Longitud de Onda	11
Ecuación. 2.2	Fórmula de Pérdida de potencia	12
Ecuación. 2.3	Decibel miliwatt	12
Ecuación. 2.4	Índice de Refracción	13
Ecuación. 2.5	Ley de Refracción	17
Ecuación. 2.6	Apertura Numérica	32
Ecuación. 5.1	Período en láser con ranura de brag.	106
Ecuación. 5.2	Reflexión máxima de brag.	107
Ecuación. 5.3	Calculo de la distancia de regeneradores 1	121
Ecuación. 5.4	Calculo de la distancia de regeneradores 1.1	122
Ecuación. 5.5	Calculo de la distancia de regeneradores 1.2	122
Ecuación. 5.6	Calculo de la distancia de regeneradores 2	123
Ecuación. 5.7	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .1	123
Ecuación. 5.8	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .2	123
Ecuación. 5.9	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .3	124
Ecuación. 5.10	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .4	124
Ecuación. 5.11	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .5	124
Ecuación. 5.12	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .6	124
Ecuación. 5.13	Calculo de la distancia de regeneradores 2 .7	124
Ecuación. 6.1	Atenuación Total	142
Ecuación. 6.2	Potencia mínima de transmisión	143
Ecuación. 7.1	Valor Actual Neto	176
