



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA
ÓPTICA PARA LA RED DE FASTNET CIA. LTDA. EN RIOBAMBA”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

SALOMÓN DARÍO GUEVARA LÓPEZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

Agradezco a DIOS por iluminar y dirigir mi existencia, a mis padres Sr. Salomón Guevara y Sra. Rosa López, quienes con sus sacrificios constituyen los pilares fundamentales para lograr el éxito en mi carrera estudiantil, a mis hermanos Paulina y Alex Guevara López por apoyarme con su cariño incondicional.

A la empresa FASTNET CÍA. LTDA., y a todo su personal por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma aportaron con un granito de arena en mi vida durante los últimos años, mi más sincero agradecimiento a su comprensión, estímulo y ayuda.

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional en todo momento ya sea con una palabra, un gesto o un consejo para cumplir mis ideales.

Salomón Darío Guevara López.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Romeo Rodríguez

**Decano de la Facultad de
Informática y Electrónica**

Ing. Paul Romero

**Director de la Escuela de
Ingeniería Electrónica**

Ing. Hugo Moreno

Director de la Tesis

Ing. Edwin Altamirano

Miembro del Tribunal

Tlgo. Carlos Rodríguez

**Director del Centro de
Documentación**

NOTA DE LA TESIS:

“Yo, Salomón Darío Guevara López, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Salomón Darío Guevara López.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AN	Apertura numérica
AP	Access Point (Punto de acceso)
APD	Avalanche photo diode (Fotodiodo de avalancha)
ARP	Address Resolution Protocol (Protocolo de resolución de direcciones)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia asincrónica)
BER	Bit Error Rate (Tasa de bit errado)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por longitud de onda densa)
EH	Híbrido Magnético
FTP	File Transfer Protocol (Protocolo transferencia de archivos)
HE	Híbrido Eléctrico
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (Protocolo para la transferencia de hipertexto)
ICMP	Internet Control Message Protocol (Protocolo de mensajes de control en Internet)
IG	Índice gradual
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Emisión de radiación estimulada por amplificación de luz)
LED	Light Emission Diode (Diodo emisor de luz)
MPLS	Multiprotocol Label Switching (Conmutación de etiquetas multiprotocolo)
NOC	Network Operation Center (Centro de Operaciones de Red)
NZ-DSF	Non-Zero Dispersion Shifted Fibre (Fibra de dispersión desplazada no nula)
OSI	Open System interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)
OSPF	Open Shortest Path First (Abrir primero la trayectoria más corta)
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer (Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo)
RARP	Reverse Address Resolution Protocol (Protocolo de resolución inversa de direcciones)

SI	Salto de índice
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol (Protocolo de transferencia simple de mail)
SNR	Signal to Noise Ratio (Relación señal a ruido)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)
TE	Transversal Eléctrico
TIR	Tasa interna de retorno
TM	Transversal Magnético
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de Datagrama de Usuario)
UIT-T	International Telecommunications Union - Telecommunication (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Telecomunicaciones)
VAN	Valor actual neto
WLL	Wireless Local Loop (Bucle local inalámbrico)

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

1.1	MARCO REFERENCIAL	18
1.1.1	ANTECEDENTES	18
1.1.2	JUSTIFICACIÓN	19
1.1.3	OBJETIVOS	20
1.1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	20
1.1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.1.4	HIPÓTESIS	21

CAPÍTULO II

2.1	MARCO TEÓRICO.....	22
2.1.1	PRINCIPIOS BÁSICOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA FIBRA ÓPTICA... 22	
2.1.1.1	INTRODUCCIÓN	22
2.1.1.2	COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA	25
2.1.1.2.1	COMPONENTES	25
2.1.1.2.2	CARACTERÍSTICAS.....	26
2.1.1.3	PRINCIPIOS FÍSICOS	29
2.1.1.3.1	ANÁLISIS ELECTROMAGNÉTICO DE LA FIBRA ÓPTICA.....	31
2.1.1.3.2	ANÁLISIS MEDIANTE LEYES DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA	34
2.1.1.3.2.1	ANGULO DE ACEPTACIÓN Y APERTURA NUMÉRICA	36
2.1.1.3.2.2	TIPOS DE PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.....	38
2.1.1.3.2.2.1	FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.....	39
2.1.1.3.2.2.2	FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL	40
2.1.1.3.2.2.3	FIBRAS MONOMODO DE ÍNDICE ESCALONADO	41
2.1.1.4	ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA.....	42
2.1.1.5	ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.....	43

2.1.1.5.1 PÉRDIDAS EN LA FIBRA.....	43
2.1.1.5.2 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN	44
2.1.1.5.3 PÉRDIDAS DE ESPARCIMIENTO DE RAYLEIGH	46
2.1.1.5.4 PÉRDIDAS POR RADIACIÓN	47
2.1.1.5.5 PÉRDIDAS DE FRESNEL	48
2.1.1.6 ANCHO DE BANDA.....	48
2.1.1.6.1 DISPERSIÓN INTRAMODAL.....	49
2.1.1.6.2 DISPERSIÓN MATERIAL	49
2.1.1.6.3 DISPERSIÓN GUÍA – ONDA	50
2.1.1.6.4 DISPERSIÓN MODAL.....	50
2.1.1.7 SISTEMA DE TRANSMISIÓN ÓPTICO	52
2.1.1.7.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE FIBRAS ÓPTICAS	52
2.1.1.7.2 FUENTES ÓPTICAS	53
2.1.1.7.3 DETECTORES ÓPTICOS.....	54
2.1.1.7.4 EMPALMES Y CONECTORES	55
2.1.1.7.4.1 EMPALME.....	55
2.1.1.7.4.2 CONECTORES	56
2.1.1.8 DISEÑO DE ENLACES POR FIBRA ÓPTICA	57
2.1.1.8.1 CRITERIOS DE DISEÑO	57
2.1.1.8.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTICOS	58
2.1.1.8.2.1 LONGITUD DE ONDA.....	58
2.1.1.8.2.2 FIBRA ÓPTICA.....	59
2.1.1.8.2.3 FUENTES ÓPTICOS.....	59
2.1.1.8.2.4 DETECTORES ÓPTICOS	60
2.1.1.8.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	60
CAPÍTULO III	
3.1 FASTNET CÍA. LTDA.	62
3.1.1 RED ACTUAL DE FASTNET CÍA. LTDA.	62
3.1.1.1 INTRODUCCIÓN	62
3.1.1.2 ESTRUCTURA DE LA RED	63
3.1.1.2.1 RED ACTUAL PARQUE SUCRE	64
3.1.1.2.2 RED ACTUAL LA DOLOROSA	64

3.1.1.2.3 RED ACTUAL COLEGIO MALDONADO	65
3.1.1.2.4 RED ACTUAL ESPOCH	66
3.1.1.2.5 RED ACTUAL HOSPITAL SAN JUAN	67
3.1.1.3 CAPACIDAD ACTUAL DEL BACKBONE DE FASTNET	69

CAPÍTULO VI

4.1 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA.....	73
4.1.1 INTRODUCCIÓN	73
4.1.2 ESTUDIO DE DEMANDA.....	74
4.1.2.1 RED HOSPITAL SAN JUAN	75
4.1.2.2 RED ESPOCH	76
4.1.2.3 RED PARQUE SUCRE	77
4.1.2.4 RED LA DOLOROSA	78
4.1.2.5 RED COLEGIO MALDONADO	79
4.1.3 SELECCIÓN DE LA RUTA.....	80
4.1.4 TIPO DE FIBRA ÓPTICA	83
4.1.5 ESTUDIO TOPOLÓGICO DE LA RUTA	88
4.1.5.1 NODO HOSPITAL SAN JUAN – NODO ESPOCH	90
4.1.5.2 NODO HOSPITAL SAN JUAN – NODO PARQUE SUCRE.....	90
4.1.5.3 NODO PARQUE SUCRE – NODO LA DOLOROSA.....	91
4.1.5.4 NODO PARQUE LA DOLOROSA–NODO COLEGIO MALDONADO	91
4.1.5.5 NODO COLEGIO MALDONADO –NODO HOSPITAL SAN JUAN	92
4.1.6 PROYECCIÓN DE TRÁFICO PARA EL SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA	93
4.1.7 DETERMINACIÓN DE EQUIPOS.....	97
4.1.8 EQUIPAMIENTO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA	102
4.1.9 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN	106
4.1.10 INTERCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS EN LOS NODOS.....	111

CAPÍTULO V

5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	113
5.1.1 INTRODUCCIÓN	113
5.1.2 COSTO DE LOS ENLACES ENTRE NODOS	114
5.1.3 COSTO DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN LOS NODOS	118
5.1.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	118

5.1.5	COSTOS DE INGENIERÍA	119
5.1.6	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	120
5.1.7	JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN	121
5.1.7.1	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	121
5.1.7.1.1	FLUJO DE CAJA	122
5.1.7.1.2	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	125
5.1.7.1.3	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	126
5.1.7.1.4	PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	127

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA II-1: COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA.....	26
FIGURA II-2: USO ACTUAL DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS ALÁMBRICOS, POR RANGOS DE FRECUENCIAS.....	29
FIGURA II-3: COMPARACIÓN ENTRE LAS FRECUENCIAS DE LA LUZ VISIBLE Y LAS EMPLEADAS EN FIBRA ÓPTICAS.....	29
FIGURA II-4: LOS TRES TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS FUNDAMENTALES.....	30
FIGURA II-5: FIBRA ÓPTICA POR SER ANALIZADA.....	32
FIGURA II-6: REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UN RAYO DE LUZ EN LA FRONTERA DE DOS MATERIALES DIELECTRICOS.....	35
FIGURA II-7: DEFINICIÓN GRAFICA DEL CONO DE ACEPTACIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA.....	37
FIGURA II-8: FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.....	39
FIGURA II-9: FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.....	41
FIGURA II-10: SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA FIBRA.....	43
FIGURA II-11: EFECTO DE LA CAPA DE AMORTIGUACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE MICRO-CURVATURAS.....	44
FIGURA II-12: CURVA QUE REPRESENTA LA ATENUACIÓN LA FIBRA ÓPTICA.....	45
FIGURA II-13: CAUSAS QUE REPRESENTAN LAS PÉRDIDAS EN LAS FIBRAS ÓPTICAS.....	46
FIGURA II-14: ESPARCIMIENTO DE RAYLEIGH.....	47
FIGURA II-15: ANCHO DE BANDA EN RELACIÓN A ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON LA LONGITUD DE ONDA.....	49
FIGURA II-16: REPRESENTACIÓN DE DISPERSIÓN GUÍA-ONDA.....	50
FIGURA II-17: DISPERSIÓN MODAL.....	51
FIGURA II-18: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE FIBRAS ÓPTICAS.....	52
FIGURA II-19: ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA.....	59
FIGURA III-20: DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN DEL ENLACE PRINCIPAL DE FASTNET CÍA. LTDA.....	63
FIGURA III-21: RED ACTUAL PARQUE SUCRE.....	64

FIGURA III-22: RED ACTUAL LA DOLOROSA.....	65
FIGURA III-23: RED ACTUAL COLEGIO MALDONADO.....	66
FIGURA III-24: RED ACTUAL ESPOCH.....	67
Figura III- 25: RED GLOBAL HOSPITAL SAN JUAN.....	68
FIGURA III-26: DIAGRAMA DEL BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA.....	72
FIGURA IV-27: DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA DE LA RED HOSPITAL SAN JUAN.....	76
FIGURA IV-28: DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED ESPOCH.....	77
FIGURA IV-29: DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED PARQUE SUCRE.....	78
FIGURA IV-30: DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED LA DOLOROSA.....	79
FIGURAIV-31: DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED COLEGIO MALDONADO.....	80
FIGURA IV-32: BUCLES DE EXCESO DE FIBRA ÓPTICA.....	82
FIGURA IV-33: CAJA DE EMPALMES MONTADA SOBRE UN POSTE.....	83
FIGURA IV-34: CABLES DE FIBRA ÓPTICA PARA TENDIDO AÉREO.....	83
FIGURA IV-35: DIAGRAMA DE INTERCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS DEL BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA IV-1:	DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA DE LA RED HOSPITAL SAN JUAN.....	75
TABLA IV-2:	DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED ESPOCH.....	76
TABLA IV-3:	DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED PARQUE SUCRE.....	77
TABLA IV-4:	DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED LA DOLOROSA.....	78
TABLA IV-5:	DATOS DE FACTURACIÓN Y CRECIMIENTO DE DEMANDA EN LA RED COLEGIO MALDONADO.....	79
TABLA IV-6:	CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO – NULA (ESPECIFICACIÓN UIT-T G.655).....	86
TABLA IV-7:	COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE CADA UNO DE LOS NODOS....	89
TABLA IV-8:	DISTANCIAS ENTRE NODOS.....	89
TABLA IV-9:	DISTANCIA ENTRE NODOS CON SUS RESPECTIVOS BUCLES DE EXCESO.....	93
TABLA IV-10:	MATRIZ ACTUAL DE TRÁFICO DE EMPRESA FASTNET CÍA. LTDA...	95
TABLA IV-11:	MATRIZ DE TRÁFICO DE EMPRESA FASTNET CÍA. LTDA. (AÑO 2014).....	96
TABLA IV-12:	MATRIZ DE TRÁFICO DE EMPRESA FASTNET CÍA. LTDA. (AÑO 2019).....	96
TABLA IV-13:	EQUIPOS PRESENTES EN CADA UNO DE LOS NODOS.....	103
TABLA IV-14:	PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SWITCH CISCO CATALYST WS-C3560-24TS-S.....	104
TABLA IV-15:	ESPECIFICACIONES PARA EL CONECTOR SFP DE CISCO.....	105
TABLA IV-16:	POTENCIA RECIBIDA Y ANCHO DE BANDA DE LOS ENLACES.....	110
TABLA V-17:	MATERIALES PARA REALIZAR EL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA.....	114
TABLA V-18:	DISTANCIA ENTRE NODOS Y CANTIDAD DE CAJAS PARA EMPALMES A UTILIZAR.....	115

TABLA V-19:	CANTIDAD DE POSTES Y HERRAJES A UTILIZAR EN EL DISEÑO.....	116
TABLA V-20:	CÁLCULO DE LONGITUD DE BUCLE DE EXCESO Y DISTANCIA TOTAL DE FIBRA ÓPTICA.....	116
TABLA V-21:	COSTOS DE INVERSIÓN EN CADA UNO DE LOS ENLACES QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA.....	117
TABLA V-22:	COSTOS DE EQUIPOS A UBICARSE EN LOS NODOS.....	118
TABLA V-23:	COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	119
TABLA V-24:	COSTOS DE INGENIERÍA.....	120
TABLA V-25:	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	120
TABLA V-26:	FLUJO DE CAJA CORRESPONDIENTE AL AÑO 5.....	123
TABLA V-27:	FLUJO DE CAJA CORRESPONDIENTE AL AÑO 10.....	124

INTRODUCCIÓN

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

Conscientes de esta realidad y teniendo en cuenta que el sistema de comunicaciones que actualmente posee FASTNET CÍA. LTDA. casi en su totalidad enlaces microondas limitados a sus características. Y como el objetivo principal de toda empresa es impulsar el desarrollo de su infraestructura para mejorar sus servicios, lo que conlleva aumentar el número de clientes y sus ingresos. Por esta razón la empresa está empeñada en dotar un sistema de telecomunicaciones que permita solucionar los problemas presentes y futuros.

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

Por lo tanto el presente trabajo se centra justamente en éste último método y su aplicación a la resolución de un problema práctico. Es así que se plantea la posibilidad de un nuevo enlace digital utilizando como medio de transmisión cable de fibra óptica, para enlazar los nodos principales que conforman la red inalámbrica de FASTNET CÍA. LTDA.

De ésta manera se obtendrá una mayor capacidad de enlace, mejorará notablemente la calidad de transmisión y evitará problemas característicos de otros medios de transmisión utilizados.

Queda constancia de que este trabajo no pretende ser exhaustivo en la materia sino que, de acuerdo al propósito y nombre del presente estudio es una buena alternativa para cubrir la demanda de tráfico actual y proyectarse a futuro según las expectativas de la empresa.

CAPÍTULO I

1.1 MARCO REFERENCIAL

1.1.1 ANTECEDENTES

La empresa “FASTNET CÍA. LTDA.” ubicada en la ciudad de Riobamba es un ISP y WISP, proveedor de servicios de Internet alámbrico e inalámbrico, que brinda sus servicios a todo el país siendo su Matriz en la ciudad de Riobamba a la cual en su mayoría le provee de servicio de Internet mediante redes inalámbricas sin respaldarse de una red física para enlazar cada uno de sus nodos de distribución.

Su infraestructura en la ciudad de Riobamba está diseñada mediante seis nodos inalámbricos configurados en enlaces punto a punto con sus nodos principales los cuales cubren toda la ciudad de acuerdo a su respectiva ubicación, pero al existir interferencia en estos radio enlaces el servicio es de baja calidad y en la actualidad con

el aumento de comunicaciones inalámbricas este es uno de los mayores problemas para las empresas que utilizan este tipo de tecnologías.

Cada uno de los equipos soportan un nivel de capacidad en la transmisión de datos alámbricamente e inalámbricamente siendo la primera la de mayor capacidad mientras la siguiente disminuye la capacidad por lo que de acuerdo a la demanda de servicios los equipos se saturan al estar limitados por las características dadas por los enlaces inalámbricos provocando lentitud en el tráfico de datos.

En la actualidad el número de clientes ha crecido significativamente en la Empresa y los servicios requeridos por estos están de acuerdo al avance de la tecnología. El diseño de esta red no soporta estas necesidades siendo necesario migrar a tecnologías que cubran estos requerimientos pero sin alterar la topología de la red.

1.1.2 JUSTIFICACIÓN

Con lo expuesto anteriormente, más que un requerimiento es una necesidad para la empresa "FASTNET CÍA. LTDA." contar con una red de fibra óptica para enlazar los nodos principales. Para lo cual con esta tesis se pretende analizar y diseñar el sistema redundante.

Al ser un medio físico que actualmente por su diseño y características de fabricación la fibra óptica es la alternativa ideal en el mercado para satisfacer necesidades requeridas en esta red, la implementación nos permite eliminar interferencias causadas por el auge de redes wifi y la gran cantidad de comunicaciones inalámbricas que interfieren en los servicios ofertados en la actualidad.

Además podemos elevar la capacidad de transmisión de datos permitiendo aumentar la cantidad de usuarios existentes en cada uno de los nodos de esta manera los equipos pueden trabajar con características de una red alámbrica eliminando posibles saturamientos y limitaciones restringidas a los enlaces inalámbricos desde y hacia los centros principales de distribución.

La gran demanda de servicios con nuevas tecnologías esta en un gran desarrollo provocando un aumento de ancho de banda en los clientes, por lo que es necesario ajustarse a estas demandas, encaminándose así como una empresa líder en el centro del país y capaz de competir con empresas grandes que brindan idénticos servicios.

Mediante la implantación de esta red a la topología actual, se puede usar los enlaces inalámbricos como sistema de respaldo a más de formar un anillo de fibra óptica en parte del sistema teniendo redundancia. Necesarios para prevenir posibles cortes de servicio en los nodos principales levantando inmediatamente el servicio de acuerdo a las políticas adoptadas por la empresa.

1.1.3 OBJETIVOS

1.1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y Diseñar un sistema redundante de fibra óptica para la red de “FASTNET CÍA. LTDA.” en Riobamba.

1.1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los principios básicos y características de la fibra óptica.
- Estudiar y analizar la red actual de la empresa FASTNET CÍA. LTDA.
- Analizar y diseñar la red de fibra óptica de acuerdo a las necesidades de la topología actual y su perspectiva de crecimiento.
- Determinar la factibilidad técnica y económica para la implementación del sistema propuesto.

1.1.4 HIPÓTESIS

“Mediante el análisis y diseño del sistema redundante de fibra óptica para la empresa “FASTNET CÍA. LTDA.” La empresa determinará la mejor alternativa para la implementación del nuevo esquema de red.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA FIBRA ÓPTICA

2.1.1.1 INTRODUCCIÓN

La ciencia y la tecnología cada día han ido evolucionando, logrando construir medios de comunicación capaces de ajustarse a la demanda actual y proyectarse a futuro. La comunicación es una necesidad para todas las personas, hoy en día se ha logrado una evolución asombrosa no solo transmitiendo la información en un medio conductor, inalámbrico, sino logrando enviar información mediante ondas de luz dentro de un material dieléctrico cubriendo las falencias que medios citados anteriormente poseen.

Las ondas de luz, al igual que las de radio, son una forma de energía electromagnética, y la idea de transmitir información por medio de la luz, como portadora, tiene más de

un siglo de antigüedad; hacia 1880, antes de la invención del teléfono, Alexander G. Bell construyera el llamado fotófono, que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz. Sin embargo, esa aplicación de las ondas luminosas no fue posible por la falta de fuentes de luz adecuadas y de un medio de propagación con pocas pérdidas.

Con la invención y construcción del láser en 1960, volvió a tomar cuerpo la idea de utilizar la luz como soporte de comunicaciones confiable y de alta potencialidad de información. De hecho, la disponibilidad de una fuente de luz coherente y monocromática estimuló la exploración de las comunicaciones ópticas como soporte de grandes flujos de información, debido a la alta frecuencia de la portadora: 10¹⁴ Hz.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser. Desde entonces comenzaron los estudios básicos sobre los procesos de modulación y detección de la luz.

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

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

Las nuevas perspectivas que ofrecían las fibras ópticas estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos de pequeño tamaño, buena fiabilidad y pequeño consumo. Los emisores de semiconductores y los detectores de estado sólido parecían

los más adecuados, en 1970 se realizó el primer láser de AlGaAs capaz de operar en forma continua a temperatura ambiente ($20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$); sin embargo, la vida de aquellos dispositivos sólo era de unas pocas horas, desde entonces la tecnología ha progresado, por lo que hoy es posible encontrar comercializados diodos láser con más de 100 000 horas de vida media.

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

En 1974 se alcanzaron 0.2 dB/Km sobre fibras monomodo en $1.55 \text{ }\mu\text{m}$. Junto a los avances en la fabricación de las fibras, en 1975 se predijo que las fibras de SiO_2 presentaban una zona de mínima dispersión, alrededor de $1.3 \text{ }\mu\text{m}$, esto venía a indicar que resultaba posible disponer de grandes anchuras de banda, alrededor de $1.3 \text{ }\mu\text{m}$, por cuanto la dispersión del material de la fibra constituye un factor limitativo intrínseco, estos dos aspectos, bajas pérdidas y baja dispersión abrían nuevas posibilidades para transmisiones de alta velocidad y larga distancia.

En 1976 tuvo lugar un destacado evento, investigadores japoneses de la NTT y de Fujikura, obtuvieron fibras con $0.47 \pm 0.1 \text{ dB/Km}$ en 1.3 y $1.5 \text{ }\mu\text{m}$, muy cerca ya del límite debido a los factores intrínsecos de atenuación (impuestos por un fenómeno de esparcimiento de Rayleigh, que introduce una atenuación inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda).

En lo que respecta a las fuentes ópticas en estas longitudes de onda se obtuvieron los resultados más alentadores con dispositivos basados en InGaAsP/InP , en 1976 se construye el primer diodo láser de InGaAsP/InP , sí bien con una vida media limitada ($\approx 2\ 000$ horas); un año más tarde (1977) también pudo fabricarse un LED de ese mismo material. Hoy tanto el LED como el láser, fabricados con este material, están comercialmente disponibles. En lo que se refiere a los fotodetectores, los diodos PIN y los fotodiodos de avalancha basados en silicio fueron desarrollándose sin dificultad, ya que éstos ofrecían buenas características.

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 de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

2.1.1.2 COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

La Fibra Óptica es un filamento de vidrio sumamente delgado y flexible construido por Dióxido de Silicio SiO_2 o plástico (de 2 a 125 micrones) capaz de conducir rayos ópticos (señales en base a la transmisión de luz). Las fibras ópticas poseen capacidades de transmisión enormes, del orden de miles de millones de bits por segundo. Se utilizan varias clases de vidrios y plásticos para su construcción.

El Dióxido de Silicio en el núcleo de la fibra óptica esta dopado con aditivos de boro y flúor para aumentar el valor de su respectivo índice de refracción. Mientras en la cubierta de la fibra óptica el Dióxido de Silicio esta dopado con germanio y fosforo para disminuir el valor de su respectivo índice de refracción.

2.1.1.2.1 COMPONENTES

Desde el punto de vista geométrico, una fibra óptica consiste en una barra dieléctrica cilíndrica muy delgada y larga, rodeada por una capa concéntrica de otro material dieléctrico como podemos observar en la Figura II-1, a continuación se describen cada uno de los componentes de la fibra.

Núcleo (Core): Puede estar constituido por sílice, cuarzo fundido o plástico de alto índice de refracción, en el cual se propagan los rayos de luz.

Cubierta(Cladding): Generalmente están constituidas por los mismos materiales del núcleo pero con índice de refracción menor , la permitividad relativa ϵ_r de esta es ligeramente menor por menos de 1% que la permitividad del núcleo, permitiendo así que las ondas electromagnéticas se propaguen a lo largo de la fibra por reflexiones internas sucesivas.

Revestimiento de protección: Por lo general está fabricado en plástico Kevlar, para protección mecánica de las frágiles fibras.

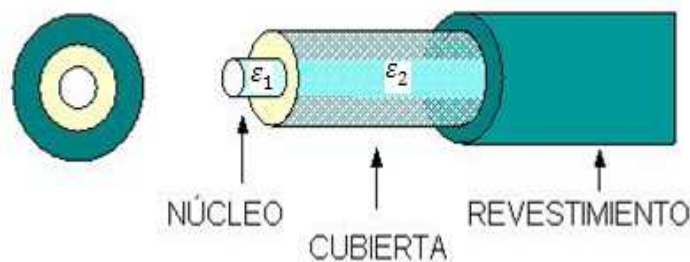


Figura II-1: Componentes de la Fibra Óptica.

El grosor total del conjunto es tan pequeño, que por su aspecto filamentario se le da el nombre de "fibra".

2.1.1.2.2 CARACTERÍSTICAS

Las características de la fibra óptica se dividen en:

Características Mecánicas. Entre las principales características mecánicas tenemos las siguientes:

- **Modulo de Young.** Se define a la fuerza por unidad de área que produce un alargamiento en la fibra óptica, donde su valor se encuentra entre 700 kp/mm²(1Kp = 9.80665 N).
- **Carga de Rotura.** Es la mínima fuerza por unidad de área que es capaz de romper la fibra óptica, donde su valor es aproximadamente de 400 kp/mm².
- **Coefficiente de Dilatación.** Indica el alargamiento que sufre la fibra óptica por cada grado de temperatura. Su valor es de 0.5×10^{-6} por cada grado°C, esto quiere decir que 100m de fibra óptica sufrirán un alargamiento de 25mm al pasar de 20°C a 70°C.
- **Radio de Curvatura.** Puede considerarse un radio de curvatura mínimo diez veces mayor al diámetro de la fibra.
- **Peso.** El peso del cable de la fibra óptica es muy inferior al de los cables metálicos. Por lo general la longitud de la bobina es de 2000m y su peso de 90kg/km.

Características Geométricas. Se suelen distinguir los siguientes parámetros, como los más importantes para caracterizar geométricamente a una fibra óptica:

- **Diámetro de la Cubierta.** El valor nominal de la cubierta recomendado es de 125µm.
- **Diámetro del núcleo.** Los valores recomendados para el diámetro del núcleo son: 9 µm, 50 µm, 62.5 µm.

Los valores recomendados tanto del diámetro de la cubierta como del núcleo, se basan en las siguientes recomendaciones:

- UIT-T G.651: Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm .
- UIT-T G.652: Características de fibras y cables ópticos monomodo.
- UIT-T G.653: Características de cables y fibras ópticos monomodo con dispersión desplazada.
- UIT-T G.654: Características de cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.
- UIT-T G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.

Características ópticas. Entre las principales características ópticas tenemos las siguientes:

- Perfil de índice de refracción de la fibra óptica.
- Apertura numérica.

Características de transmisión. Las principales características de transmisión de la fibra óptica son las siguientes.

- Atenuación.
- Ancho de Banda.
- Longitud de onda de corte.

Cada una de estas características las desarrollaremos en este presente capítulo.

2.1.1.3 PRINCIPIOS FÍSICOS

Las frecuencias ópticas utilizadas son del orden de los 5×10^{14} o 500THz (ver Figura II-2) y, en teoría la capacidad de un laser para transmitir o inyectar información es de 100000 veces la capacidad de un sistema convencional de microondas. Las fibras ópticas son líneas de transmisión con mayor ancho de banda y capacidad para transmitir información, superando altamente a los sistemas convencionales de transmisión.

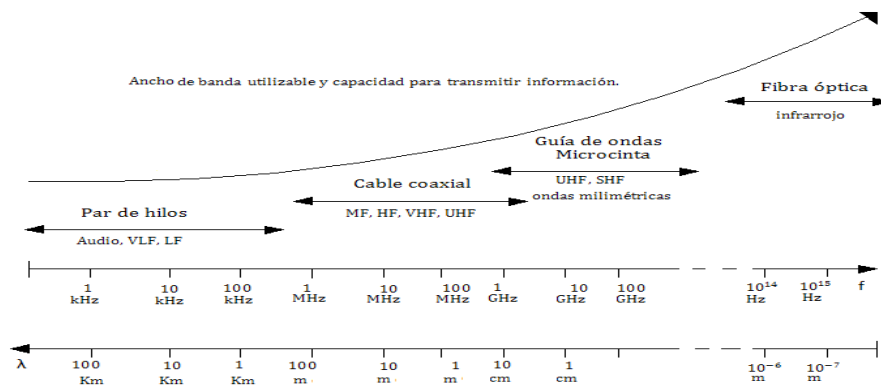


Figura II-2: Uso actual de los principales sistemas alámbricos, por rangos de frecuencias.

En general, el tipo de luz que viaja por una fibra es invisible, ya que las frecuencias empleadas corresponden al infrarrojo cercano o al infrarrojo lejano en el espectro electromagnético (ver Figura II-3). Estas frecuencias usadas para transmitir luz por fibra óptica son unas dos veces más bajas que las frecuencias visibles (ver Figura II-2).

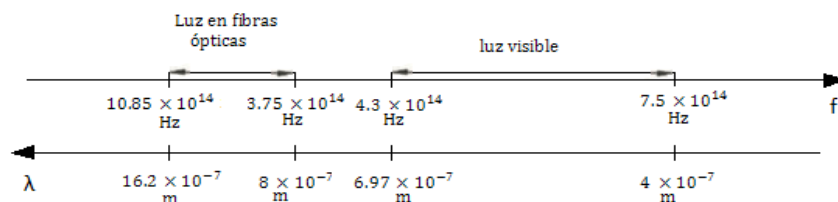


Figura II-3: Comparación entre las frecuencias de la luz visible y las empleadas en fibra óptica.

Existen fundamentalmente tres tipos de fibras ópticas: monomodo de índice escalonado, multimodo de índice escalonado y multimodo de índice gradual. Como se puede observar en la Figura II-4 el índice de refracción es, en todos los casos, mayor en el núcleo que en el revestimiento. La fibra monomodo de índice escalonado (Figura II-4(a)) tiene un núcleo muy angosto con índice de refracción uniforme. La fibra multimodo de índice escalonado (Figura II-4(b)) tiene un núcleo mucho más ancho, aunque también con índice de refracción constante. Y finalmente, la fibra multimodo de índice gradual (Figura II-4(c)) también tiene un núcleo ancho, pero el índice de refracción va variando gradualmente hasta alcanzar su máximo en el centro del núcleo. Los valores de los índices de refracción n varían generalmente entre 1.0 y 1.5.

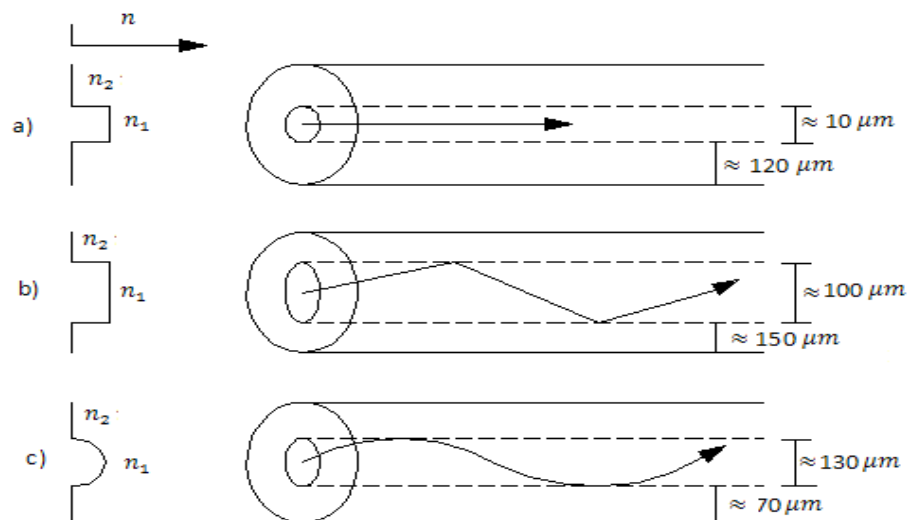


Figura II-4: Los tres tipos de fibras ópticas fundamentales.

La fibra óptica es un medio de transmisión capaz de transportar información tanto analógica, como digital. Así, su principio de funcionamiento es estudiado los campos electromagnéticos dados por las Ecuaciones de Maxwell, para una comprensión rigurosa. Otro método, menos riguroso, para estudiar la propagación en la fibra óptica, son las Leyes de la Óptica Geométrica.

2.1.1.3.1 ANÁLISIS ELECTROMAGNÉTICO DE LA FIBRA ÓPTICA

Un campo electromagnético se describe por dos vectores de campo relacionados entre sí: el campo eléctrico $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ y el campo magnético $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ ambos son funciones vectoriales de la posición y el tiempo. En general, requerimos de seis funciones escalares de la posición y el tiempo [componentes de los vectores $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ y $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$] para describir el comportamiento de la luz en un medio; sin embargo, estas seis funciones se relacionan a través de las ecuaciones de Maxwell, las cuales, en un medio lineal, homogéneo, isotrópico, dispersivo y libre de fuentes son representadas de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) &= - \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \\ \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) &= \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{J}(\mathbf{r}, t) \\ \nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) &= 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) &= \rho(\mathbf{r}, t)\end{aligned}$$

Donde $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$ es el vector de desplazamiento eléctrico y $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ es el vector de inducción magnética. A estas cuatro ecuaciones es necesario agregar las relaciones constitutivas:

$$\begin{aligned}\mathbf{D}(\mathbf{r}, t) &= \epsilon \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) \\ \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) &= \mu \mathbf{H}(\mathbf{r}, t)\end{aligned}$$

En donde ϵ es la permitividad o constante eléctrica del material, y μ es su permeabilidad magnética del medio.

En la Figura II-5, se muestra a la fibra óptica por ser analizada y el sistema de coordenadas empleadas. La geometría cilíndrica de la fibra óptica permite analizar a esta en coordenadas cilíndricas, así se indica cada una de las ecuaciones siguientes.

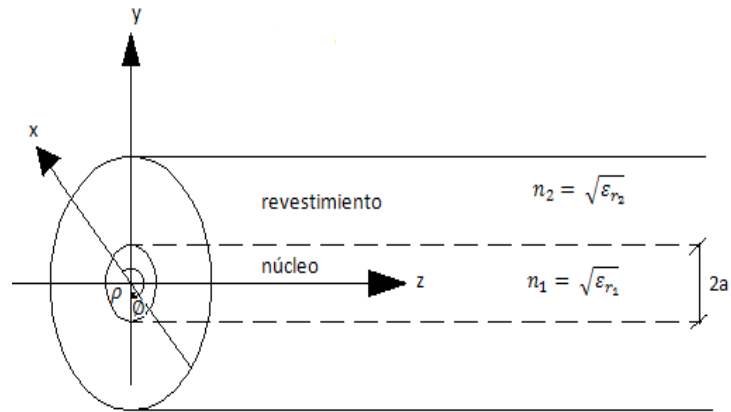


Figura II-5: Fibra Óptica por ser analizada.

Partiendo de la teoría de transmisión de los modos en las ondas electromagnéticas planas está determinado por la ecuación de Helmholtz para las componentes z de los vectores de campo:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial H_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \phi^2} + (\gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon) H_z = 0$$

Para los modos TE Transversales eléctricos.

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial E_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} + (\gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon) E_z = 0$$

Para los modos TM Transversales magnéticos.

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial E_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} + (\gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon) E_z = 0$$

La solución general considerando a la fibra como una guía circular y luego de aplicar varios métodos matemáticos es la siguiente:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} + h^2 \Psi = 0$$

En donde

$$h^2 = \gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon$$

$$\Psi = J_m(h\rho) \cos m\phi e^{-\gamma z} \text{ en función de Bessel de primera clase.}$$

$$\Psi = K_m(h\rho) \cos m\phi e^{-\gamma z} \text{ en función de Bessel de segunda clase.}$$

Esta solución general al aplicar las condiciones adecuadas de frontera permiten encontrar los campos TE (Transversal Eléctrico), TM (Transversal Magnético) y los híbridos HE (Híbrido Eléctrico) y EH (Híbrido Magnético).

El análisis anterior es importante, ya que permite determinar el parámetro V conocido como *frecuencia normalizada V*; importante relacionado con la condición de corte de la fibra. Es un número adimensional que define cuantos **modos** diferentes puede haber simultáneamente en la fibra a una frecuencia determinada llegando a la siguiente ecuación:

$$V = \left(\frac{2\pi a}{\lambda_0} \right) [n_1^2 - n_2^2]^{1/2}$$

2.1.1.3.2 ANÁLISIS MEDIANTE LEYES DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Las longitudes de onda que se emplean para transmitir luz en fibras ópticas están en el rango de 0.8 a 1.6 micras (véase la Figura II-2). Por otra parte, el diámetro del núcleo de una fibra puede medir entre 10 y 200 micras, aproximadamente. O sea que, en términos de longitudes de onda, el núcleo es visto por una onda de luz como si fuese una estructura muy grande. Esto permite estudiar el comportamiento de las ondas de luz en el interior de la fibra óptica como si se tratase de rayos que se reflejan y se refractan en núcleo-revestimiento.

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

Cuando un rayo de luz viaja por un medio dieléctrico con un índice de refracción n_1 , su velocidad v_1 es inferior a la que tendría en el vacío (c). Ambas velocidades están relacionadas por la ecuación:

$$n_1 = \sqrt{\epsilon_{r1}} = \frac{c}{v_1}$$

O sea que el índice de refracción puede ser interpretado como cuantas veces más grande es la velocidad de la luz en el vacío que el material 1.

Por ejemplo, el aire, el vidrio y el diamante tienen, respectivamente, índices n igual a 1.00, 1.50 y 2.42.

Si el rayo de luz que viaja por ese medio con índice de refracción n_1 se encuentra de pronto con medio diferente (por ejemplo, con el revestimiento de la fibra) de índice n_2 , se produce los fenomenos de reflexión y refracción (Figura II-6). Es decir una parte del rayo se refleja y regresa al medio de origen (n_1), y el resto es desviado o refractado al penetrar en el segundo material (n_2) y viajar por el. Por lo tanto, la velocidad de los rayos incidente y reflejado es igual a c/n_1 , mientras que la del rayo refractado es ligeramente mayor e igual a c/n_2 . El rayo reflejado forma con la frontera un ángulo igual al del rayo incidente con la misma frontera; y ambos rayos, junto con la línea normal (punteada en la Figura II-5) a la superficie de la frontera, quedan en el mismo plano, que a su vez es perpendicular a dicha superficie. Este tipo de reflexión se denomina reflexión interna, pues el rayo incidente se refleja en un material menos denso (n_2) para regresar al más denso ($n_1 > n_2$).

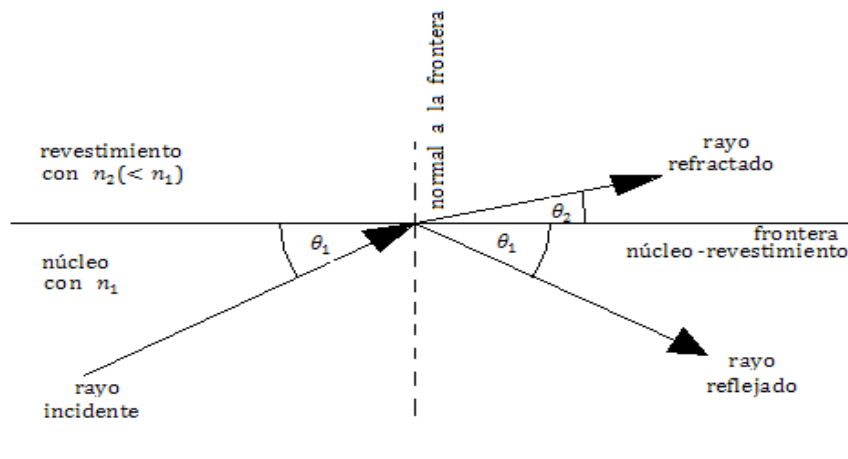


Figura II-6: Reflexión y refracción de un rayo de luz en la frontera de dos materiales dieléctricos.

El ángulo que forma el rayo refractado con la frontera se puede deducir a partir de la ley de Snell, que de acuerdo con los ángulos definidos en la misma Figura II-6, establece que:

$$n_1 \cos \theta_1 = n_2 \cos \theta_2$$

De la ecuación anterior se puede despejar el ángulo de refracción:

$$\theta_2 = \text{ang} \cos\left[\frac{n_1}{n_2} \cos \theta_1\right]$$

Como $n_1/n_2 > 1$, conforme θ_1 disminuye, el ángulo de refracción θ_2 se aproxima a cero grados. Cuando esta última condición se alcanza, ya no hay refracción y se dice que el rayo tiene reflexión interna total. Al ángulo θ_1 que elimina la posibilidad de refracción se le da el nombre de *ángulo crítico de incidencia* (este es el principio en el que se basa la transmisión en la fibra óptica) y se denota como θ_c . Para todo ángulo de incidencia θ_1 menor que el ángulo crítico θ_c , la reflexión interna es total.

$$\theta_c = \theta_1 \Big|_{\theta_2=0} = \text{ang} \cos\left[\frac{n_1}{n_2}\right]$$

Para que pueda cumplirse la reflexión interna total y de este modo los rayos de luz puedan propagarse a través del núcleo de la fibra, el índice de refracción del núcleo debe ser siempre mayor que el de la cubierta y el ángulo de incidencia debe ser mayor que el crítico. De modo que el rayo viajara a lo largo de la fibra rebotando una y otra vez.

2.1.1.3.2.1 ANGULO DE ACEPTACIÓN Y APERTURA NUMÉRICA

Estos dos parámetros están relacionados con la habilidad o eficiencia de acoplamiento de dicha fibra tiene para aceptar la mayor cantidad de luz que provenga de la fuente emisora.

Cuando se realiza el acoplamiento entre la onda lumínica emitida por la fuente y el medio utilizado para la transmisión, fibra óptica, la onda lumínica sufre una variación de velocidad y dirección en el medio de propagación, ya que se propaga inicialmente desde el exterior de la fibra, es decir el aire con un índice de refracción $n_0 = 1$ y luego pasa a propagarse por el núcleo de la fibra óptica. El máximo ángulo de acoplamiento $2\theta_0$ se le da el nombre de *ángulo de aceptación* (ver Figura II-7) del conductor de fibra óptica y es únicamente función de los índices de refracción n_1 y n_2 . Al $\text{sen}\theta_0$ máximo se le designa como la apertura numérica (AN) del conductor de fibra óptica.

$$AN = \text{sen}\theta_{0(\text{máx})} = n_1 \text{sen}\theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Se ve, por lo tanto, que la apertura numérica depende exclusivamente de los materiales de que están hechos el núcleo y el revestimiento. Cuanto más parecidos sean sus índices de refracción, menor será la AN y menor el ángulo de aceptación. Mientras más parecidos sean los materiales, se requerirá una fuente de luz más estrecha.

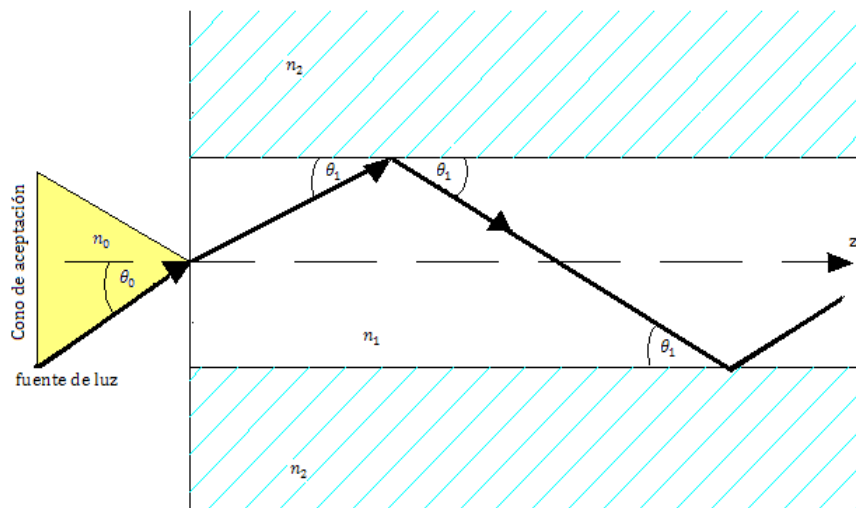


Figura II-7: Definición grafica del cono de aceptación de una fibra óptica.

2.1.1.3.2.2 TIPOS DE PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Basándonos en la óptica geométrica, podemos calcular la relación entre las longitudes recorridas por un modo de propagación que sigue al eje de la fibra, comparado con otro que recorre la fibra mediante sucesivas reflexiones, es decir que incide con un ángulo θ_0 a la cara de la fibra. Llamando l a la longitud recorrida por un rayo axial y l_m a la correspondiente al modo m , tenemos:

$$l_m = \frac{l}{\cos(\beta)}$$
$$n_0 \cos \theta_0 = n_1 \cos \beta$$
$$\beta = \arccos \left[\frac{n_0}{n_1} \cos \theta_0 \right]$$
$$l_m = \frac{l}{\cos \left(\arccos \left[\frac{n_0}{n_1} \cos \theta_0 \right] \right)}$$

La expresión anterior cuantifica la relación entre los caminos recorridos por los diferentes modos. Resulta obvio que si el índice de refracción n_1 es constante, la velocidad de ambos modos será la misma y por lo tanto, el rayo que ingrese con menor ángulo recorrerá el menor camino. Pero si los dos impulsos salen juntos, habrá uno que alcanzará el final de la fibra un instante antes, llevando esto a un ensanchamiento temporal de los pulsos.

A este fenómeno se lo conoce como dispersión modal y provoca una reducción en el ancho de banda que se puede transmitir y, por lo tanto, de la capacidad binaria. Este fenómeno es particular de las fibras que transmiten en más de un modo, es decir las multimodo. En las fibras monomodo, esto no ocurrirá debido a que sólo se puede transmitir un modo por ellas.

Cabe pensar, entonces, en la posibilidad de que el índice de refracción del núcleo varíe según alguna ley, por la cual a los caminos de mayor recorrido se les dé una mayor velocidad, y así se disminuya la dispersión modal. A este criterio obedecen las fibras de *índice gradual (IG)*. Cuando se hable de fibras monomodo no tendrá objeto el pensar en un índice gradual, con lo que será constante en todo el radio del núcleo y saltará bruscamente en el revestimiento. Estas fibras, al igual que las primeras multimodo, son de *salto de índice o índice escalonado (SI)*.

Para las fibras multimodo, no siempre es necesario un perfil IG. Así en el caso de bajos anchos de banda o reducidas distancias, podremos utilizar las tradicionales SI.

2.1.1.3.2.2.1 FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

Estas fibras son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo permanece invariable en toda su sección. Este tipo de fibra son las que menos se utilizan en Ingeniería de Telecomunicación, reservándolas para aplicaciones de corta distancia y bajo ancho de banda. El índice de refracción del revestimiento también es constante. El perfil del índice de refracción toma la forma que se ve en la figura.

Este tipo de fibra permita la coexistencia de varios modos de propagación, llegando cada uno de ellos en instantes diferentes al extremo del receptor de la fibra óptica, por lo anteriormente explicado.

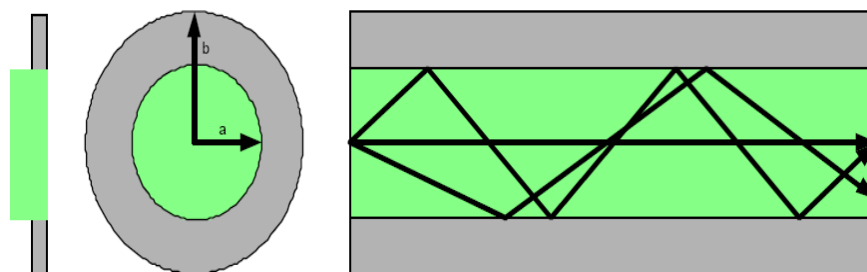


Figura II-8: Fibra multimodo de índice escalonado.

Al ser la señal resultante la suma de los diversos modos de propagación que llegan en cada instante al receptor, y dado que llegan desfasados en el tiempo por viajar por caminos diferentes, se produce un ensanchamiento del impulso original. Esto dice a las claras, que la dispersión modal es acumulativa con la distancia. Esto origina una reducción del ancho de banda, ya que éste es inversamente proporcional al ancho del pulso de recepción. Como consecuencia, las fibras ópticas multimodo incrementarán su ancho de banda en la medida que transmitan menor cantidad de modos, a través de su núcleo. Al ser constante el índice de refracción, también lo será la apertura numérica.

2.1.1.3.2.2 FIBRAS MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL

En este tipo de fibras, el índice de refracción del núcleo es variable a lo largo del radio del mismo, siendo máximo en el centro y disminuyendo hacia la periferia. El índice de refracción del revestimiento permanece constante.

Estas fibras presentan características de transmisión mucho más interesantes. Así pues, la velocidad de propagación en un medio donde el índice de refracción es n es igual a c/n , siendo c la velocidad de la luz en el vacío. De esta forma, se es mayor el índice de refracción en el centro del núcleo, la velocidad de las ondas que se transmiten por él es menor que la de aquellas que viajan por la periferia, con lo que el menor espacio a recorrer por las primeras se compensa con su menor velocidad, permitiendo así que las ondas emitidas en una cara y en un instante determinado, lleguen casi al mismo tiempo al extremo distante. Por lo tanto, el retardo entre modos será menor y, en consecuencia, también será menor el ensanchamiento del pulso original en el receptor. Esto lleva a la posibilidad de un aumento de ancho de banda.

En las fibras con este tipo de perfil de índice las trayectorias de los modos son curvas, en lugar de rectas, como ocurre con las fibras de salto de índice, debido precisamente

a la variación del índice. Esta variación ocurre, además, de tal forma que se van produciendo enfoques sucesivos de los rayos en dirección al eje de la fibra.

Las trayectorias de los modos meridionales son del tipo sinusoidal, variando su amplitud según el ángulo de incidencia. Las trayectorias de los modos no meridionales son de tipo helicoidal y dependen de la distancia al eje óptico de la fibra, el ángulo y el punto de incidencia.

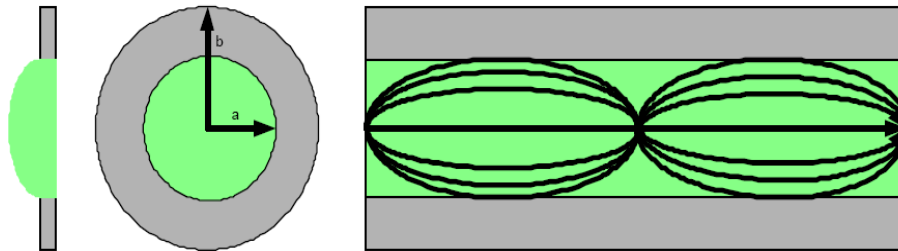


Figura II-9: Fibras multimodo de índice gradual.

2.1.1.3.2.2.3 FIBRAS MONOMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

Según se vio, la única opción posible para conseguir la transmisión de un único modo en la fibra es reducir su diámetro. Llevándolo a valores inferiores a 6 o 10 μm , se consigue la condición de $V < 2.405$, y estaremos ante una fibra monomodo.

En este tipo de fibras, la solución de la ecuación de onda conduce a un único resultado, llamado *modo dominante*, y que constituye su única posibilidad de propagación. Por lo tanto, en este tipo de fibras no se da el fenómeno de la dispersión modal (ensanchamiento del pulso), que es producido por la existencia de varios modos. Como consecuencia se ven características de ancho de banda notablemente superiores a las fibras multimodo, es por ello que son ampliamente utilizadas en comunicaciones; son aplicables para enlaces de largas distancias y gran flujo de datos, y hasta enlaces submarinos.

2.1.1.4 ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica debe soportar cableado, instalación empalmes y cambios de estaciones, y por esta razón la fibra es protegida con dos o más capas plásticas.

Las estructuras de cables de fibra ópticas pueden ser ampliamente clasificadas en estructura rígida y estructura suave; en el caso de las estructuras rígidas las fibras son colocadas en estrecho contacto alrededor del elemento de tensión rígido, tal que todas las expansiones y contracciones debidas a fuerzas externas o variaciones de temperatura, etc. sea hecho juntas con el elemento tensor rígido.

En Japón las estructuras rígidas son aceptadas y ampliamente usadas actualmente, debido a que tiene muchas ventajas comparadas con las de estructura suave (Figura II-10).

En ausencia de este elemento tensor, el eje óptico desarrolla micro-curvaturas, por lo tanto la transmisión de la luz se escapa y como resultado la fibra óptica crea pérdidas por radiación. Esto es conocido como pérdidas de micro-curvaturas y estas, se crean bajo las siguientes condiciones:

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

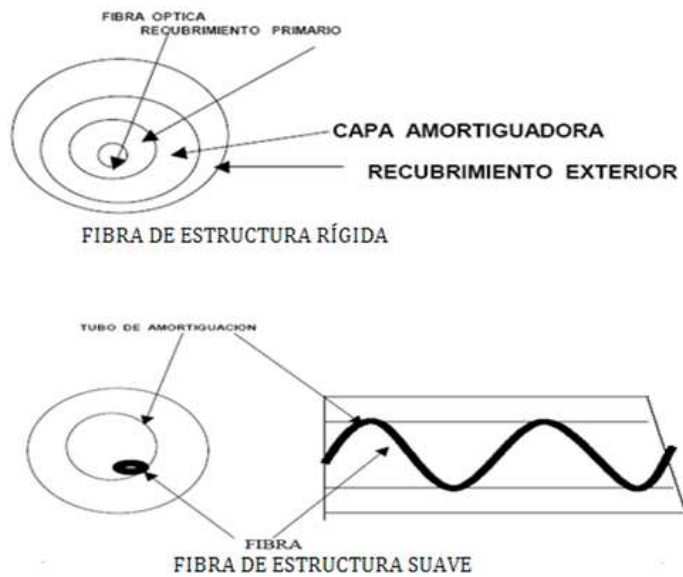


Figura II-10: Sección transversal de la fibra.

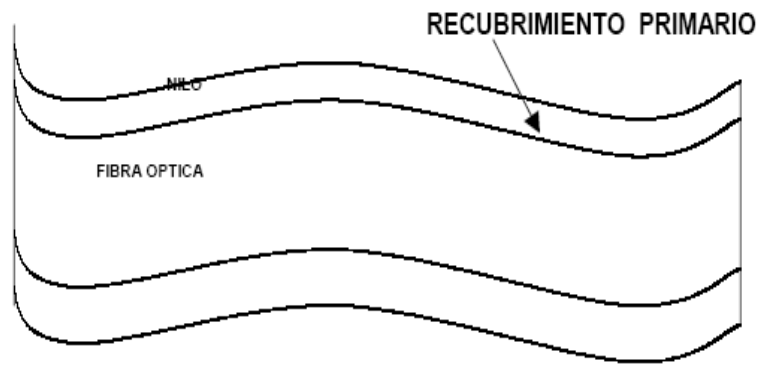
Estas micro curvaturas pueden ser reducidas, dividiendo la estructura del cable en varias capas de amortiguación, además de que la fibra por sí misma está provista como una suave capa para proveer micro-curvaturas, como se muestra en la figura II-10.

2.1.1.5 ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

2.1.1.5.1 PÉRDIDAS EN LA FIBRA

La atenuación de una señal de luz, cuando se propaga a lo largo de la fibra, es de vital importancia en el diseño de un sistema de comunicación óptico, debido a que juega un papel importante en la determinación de la máxima distancia de transmisión entre el transmisor y el receptor dependiendo mucho en su constitución y fabricación (ver Figura II-11).

a) FIBRA SIN CAPA AMORTIGUADA



b) FIBRA CON CAPA AMORTIGUADA

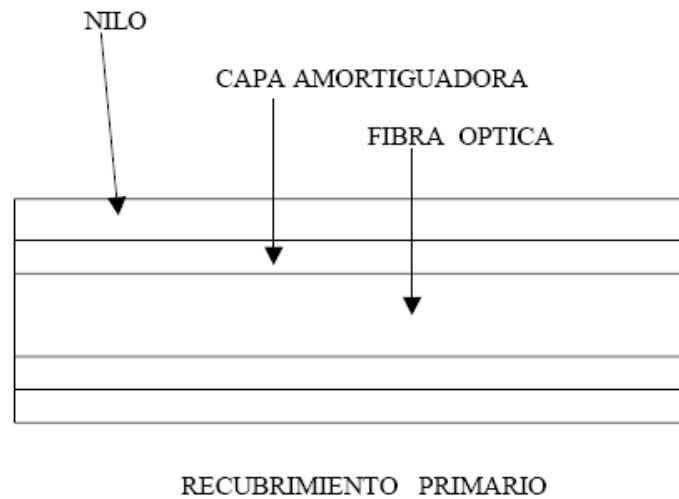


Figura II-11: Efecto de la capa de amortiguación en la reducción de micro-curvaturas.

2.1.1.5.2 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN

La absorción conjuntamente con la dispersión, son las causas principales para la atenuación de las señales que se transmiten en una fibra óptica así se puede observar en la Figura II-12 la curva que representa la atenuación de la fibra óptica.

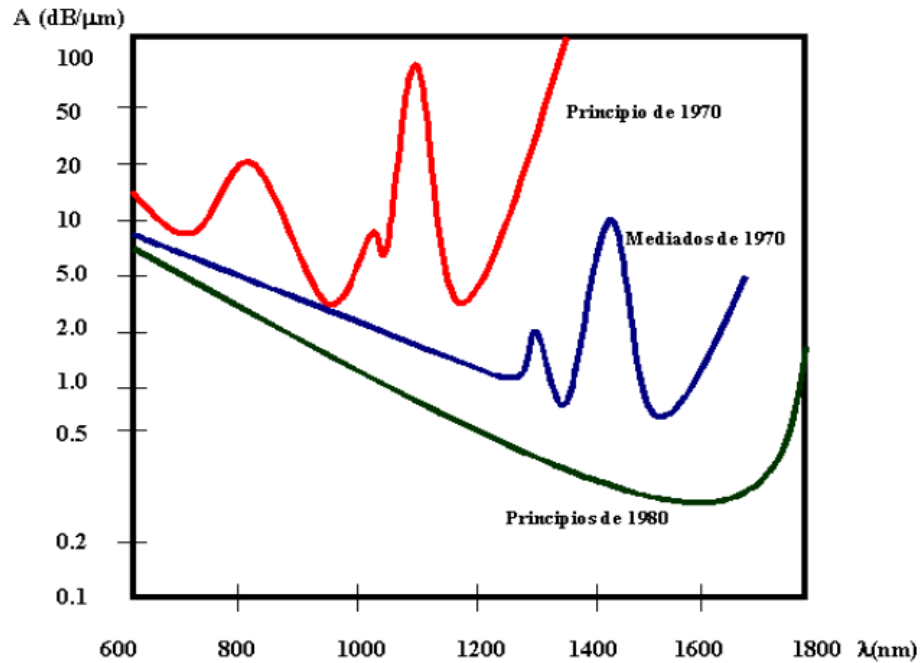


Figura II-12: Curva que representa la atenuación la fibra óptica.

Estas son producidas por impurezas indeseadas en el material de la fibra óptica y solo tiene consecuencias en determinadas longitudes de onda. La absorción se produce por dos situaciones diferentes:

a) Absorción Intrínseca del material.

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

b) Absorción de impurezas

La presencia de impurezas (iones OH) en la fibra, producen grandes pérdidas de absorción, por esta razón, en la fabricación de fibras, la concentración de iones OH debe ser tan baja como sea posible (ver Figura II-13).

2.1.1.5.3 PÉRDIDAS DE ESPARCIMIENTO DE RAYLEIGH

El esparcimiento de Rayleigh se origina por fluctuaciones térmicas y fluctuaciones composicionales del material de la fibra. Cuando la luz se propaga a través de un material no homogéneo (turbiedad) la luz se refleja en otras direcciones (Figura II-14).

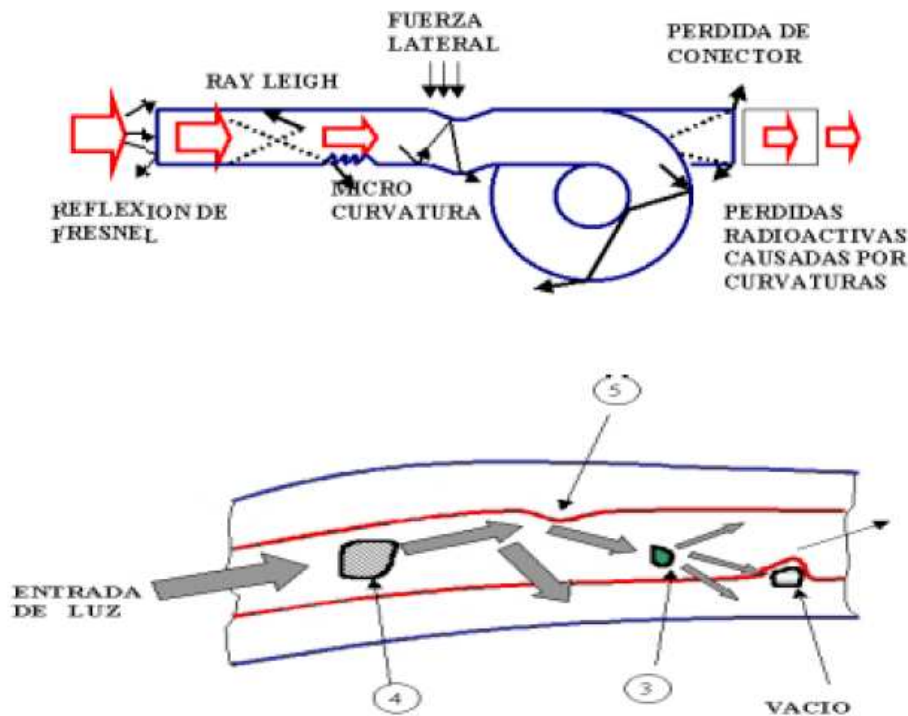


Figura II-13: Causas que representan las pérdidas en las fibras ópticas.

Este fenómeno, llamado esparcimiento de Rayleigh, se produce cuando la luz encuentra en su camino partículas extrañas al medio continuo, cuyo diámetro es mucho mayor que la longitud de onda de la señal. La difracción resultante absorbe parte de la energía de la señal y produce una pérdida de energía que decrece exponencialmente con la cuarta potencia de la longitud de onda. Las pérdidas por este efecto son las de mayor influencia para longitudes de onda desde los 400 a 1100 nm.

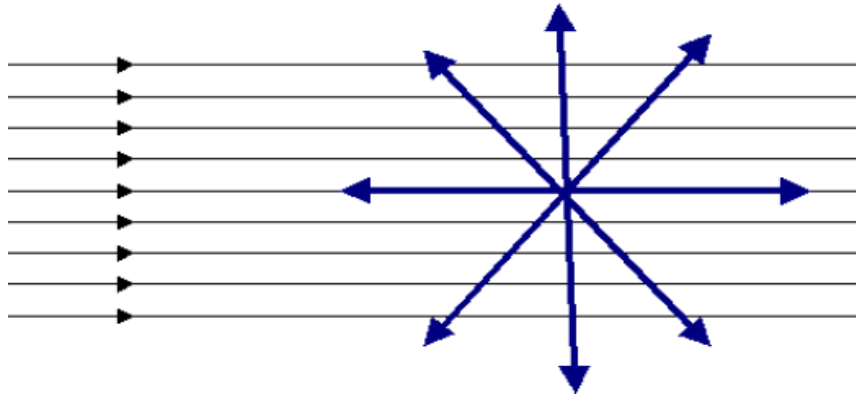


Figura II-14: Esparramiento de Rayleigh.

2.1.1.5.4 PÉRDIDAS POR RADIACIÓN

Las pérdidas por radiación se producen en aquellos lugares donde la fibra presenta curvaturas de radio finito (ver Figura II-13). Las fibras pueden estar sometidas a dos tipos de curvaturas.

- a) Curvaturas que tienen radios mayores que los comparados con el diámetro de las fibras, estas aparecen cuando el cable de fibra dobla una esquina.
- b) Curvaturas microscópicas aleatorias del eje de la fibra que pueden formarse cuando la fibra es colocada dentro de los cables o, cuando el cable de fibra es instalado.

2.1.1.5.5 PÉRDIDAS DE FRESNEL

Al realizar las conexiones (ver Figura II-13), estas generan pérdidas que provocan atenuación de la luz que se propaga por la fibra óptica, dichas pérdidas se conocen como pérdidas Fresnel.

Si se consideran a las caras de la fibra al unir, lisas y perpendiculares a sus ejes y estos ejes están alineados se refleja una pequeña cantidad de luz hacia la fibra transmisora lo que causa atenuación en la conjuntura está asociada al cambio brusco de índices de refracción en la juntura (vidrio-aire-vidrio).

En las condiciones indicadas, la fórmula de Fresnel es:

$$r = \left[\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right]^2$$

Donde: r coeficiente de reflexión, n_1 índice de refracción del núcleo, n índice de refracción en el medio entre las fibras (aire $n = 1$).

Esto origina pérdida de la señal lo cual se reduce a valores muy bajos empleando fluidos (gel) que adapten los índices de refracción en la separación entre ambas fibras. Si el fluido tiene igual n que el núcleo de las fibras, las pérdidas de Fresnel son limitadas.

2.1.1.6 ANCHO DE BANDA

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

2.1.1.6.1 DISPERSIÓN INTRAMODAL

La dispersión intramodal está constituida por dispersión material y dispersión guía – onda.

2.1.1.6.2 DISPERSIÓN MATERIAL

Esta causa el ensanchamiento temporal de los impulsos en la fibra, debido a la dependencia del índice de refracción del vidrio con la longitud de onda y además por la anchura espectral de las fuentes ópticas utilizadas en la práctica no es nula así se puede observar la relación Índice de refracción Vs. Longitud de onda en la figura II-15.

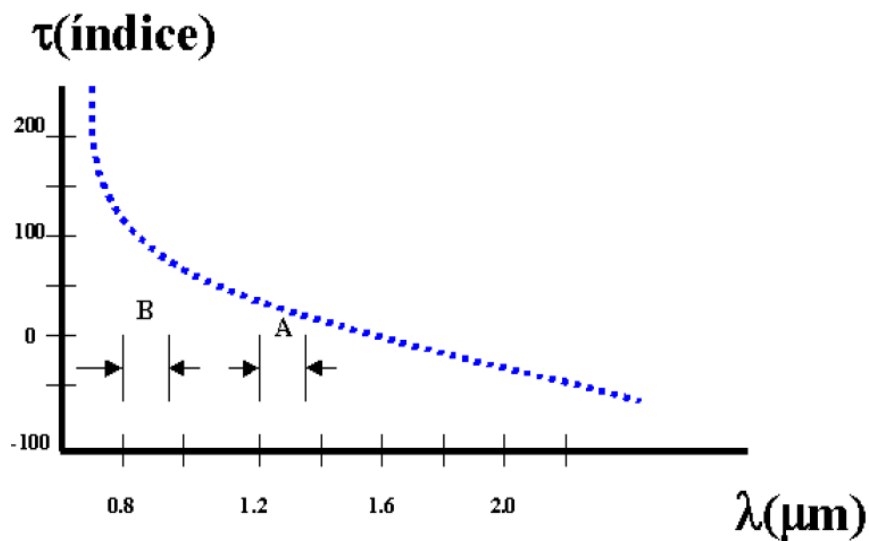


Figura II-15: Ancho de Banda en relación a índice de refracción con la longitud de onda.

2.1.1.6.3 DISPERSIÓN GUÍA – ONDA

Su origen físico la contribución al ensanchamiento de los impulsos ópticos al viajar por la fibra a causa del material es totalmente unido a la de la estructura geométrica y óptica de la guía-onda. Ambas son proporcionales a la longitud del enlace y a la anchura espectral de radiación del emisor óptico. En la práctica la dispersión debida al guía-onda solo tiene peso en las fibras monomodo (ver Figura II-16).

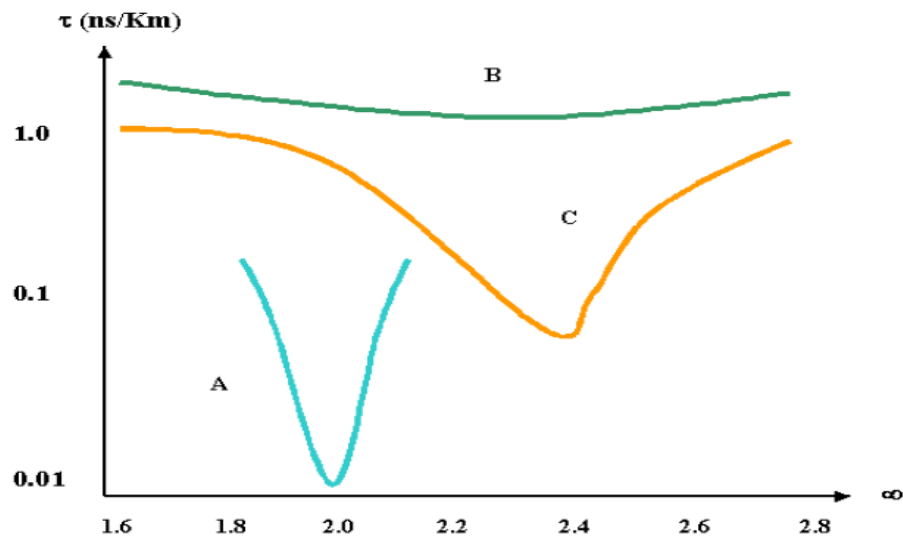


Figura II-16: Representación de dispersión Guía-onda.

2.1.1.6.4 DISPERSIÓN MODAL

Esta dispersión se origina debido a que cada uno de los modos que se propagan por la guía-onda pueden seguir una trayectoria distinta en el interior del núcleo como además la velocidad de la luz en cada punto depende del índice de refracción, los modos de propagación sufren retardos relativos que dan lugar a un ensanchamiento temporal de los impulsos de luz.

Estos factores limitan el ancho de banda de cada fibra como resultado de la dispersión, la señal inducida se distorsiona debido al ensanchamiento del pulso de la luz, como se muestra a continuación.

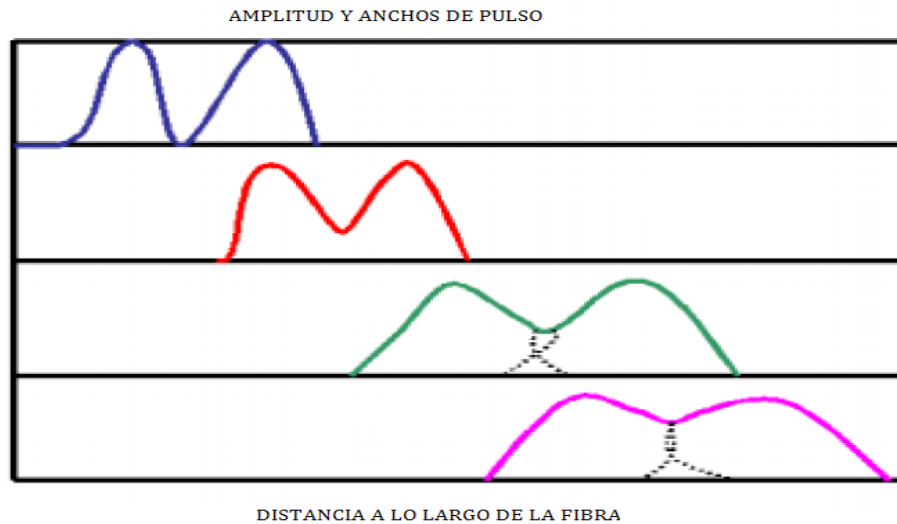


Figura II-17: Dispersión modal.

Este ensanchamiento temporal, temporalmente crea un trasplante de pulso sobre los pulsos vecinos (ver Figura II-17), por lo tanto, después de que un cierto número de trasplantes haya ocurrido los pulsos laterales no podrán ser reconocidos individualmente en el receptor, ocurriendo con estos errores en la transmisión de señales, así las propiedades dispersivas determinan los límites de la capacidad de información de la fibra.

Una medida de la capacidad de información de una guía-onda óptica es normalmente especificada por el ancho de banda-distancia MHz-Km.

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

2.1.1.7 SISTEMA DE TRANSMISIÓN ÓPTICO

2.1.1.7.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE FIBRAS ÓPTICAS

Un diagrama de bloques de un sistema de comunicación digital por fibras ópticas se da en la Figura II-18 donde sólo una sección de regeneración se indica. Cualquier sistema de transmisión comprende tres bloques principales: un transmisor, el medio de transmisión o canal y un receptor.

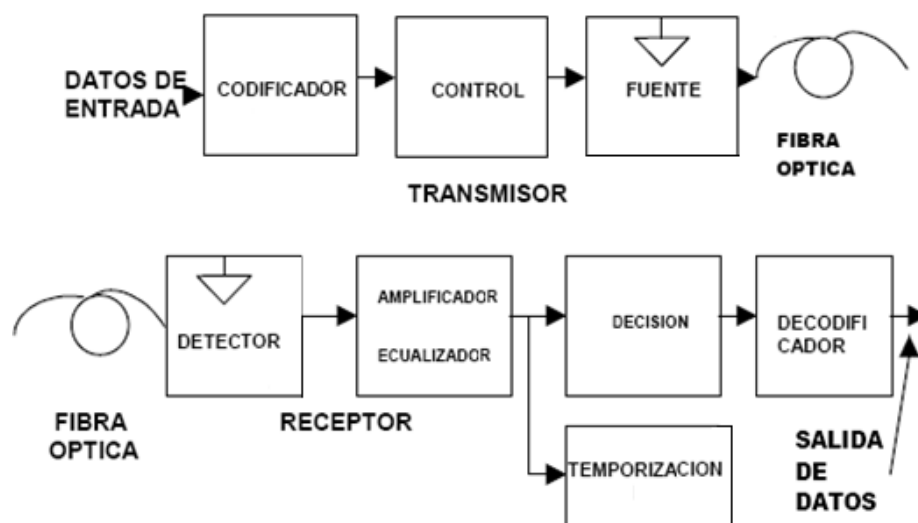


Figura II-18: Diagrama de bloques de un sistema de fibras ópticas.

El transmisor contiene un codificador de línea, el cual convierte la secuencia de entrada de símbolos binarios estadísticamente independientes, con una velocidad f_0 , en una secuencia de símbolos, con una velocidad f_r , apropiado para el medio de transmisión y propósitos de monitoreo. Esta señal modula a través de circuitos amplificadores de corriente (drivers), la intensidad de la potencia de salida de la fuente

óptica (típicamente un dispositivo de alta corriente, bajo voltaje), el cual puede ser un diodo emisor de luz (LED) o un diodo láser.

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

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

2.1.1.7.2 FUENTES ÓPTICAS

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

Los LED son fuentes ópticas que presentan gran seguridad para aplicaciones en sistemas de transmisión (tiempo de vida media mayor que 100 000 horas). Estas son fuentes que emiten luz isotrópica semicoherente, las cuales, según el semiconductor utilizado, pueden operar en la primera o segunda ventana, con un ancho espectral comprendido entre 20 y 50 nm y de 40 a 100 nm en los dos casos respectivamente. Los valores de radiancia pueden variar de 20 a 100 W/sr.cm² y de 10 a 50 W/sr.cm² por LED operando en la primera y segunda ventana respectivamente.

Las fuentes láser tienen muchas ventajas sobre los LED, ya que estos poseen una radiancia mayor y el rayo de luz que emiten es coherente.

La potencia óptica total transmitida está en el rango de 1 a 10 mW por dispositivos radiantes en la primera ventana ($\lambda \approx 0.85 \mu\text{m}$) los láser también son apropiados para la segunda ventana con un máximo de potencia de salida de cerca de 4 mW. Como el ancho espectral de la luz emitida es alrededor de 1–2 nm, el uso de estas fuentes permite reducir los efectos de la dispersión material. La radiación no tiene un patrón isotrópico y consecuentemente la potencia óptica inyectable en la fibra puede ser, para fibras de pequeño diámetro con una apertura numérica pequeña, hasta dos órdenes de magnitud mayores que con LED.

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

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

Actualmente la principal desventaja de las fuentes láser es su limitado tiempo de vida, cerca de 10000 horas como máximo, mientras que para aplicaciones de telecomunicaciones el mínimo requerido es de 100000 horas. Sin embargo, tomando en cuenta el rápido avance de la tecnología en ésta área, se espera que este inconveniente sea superado en los siguientes años.

2.1.1.7.3 DETECTORES ÓPTICOS

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

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

Los fotodiodos PIN requieren solamente de un moderado voltaje de polarización (unas pocas décimas de voltios), en contraste con los fotodiodos de avalancha. Su ancho de banda está limitado básicamente por el efecto del tiempo de tránsito, esto puede ser reducido con el espesor de la unión, pero de esta manera la respuesta también es reducida. Sin embargo un compromiso es necesario. Diodos optimizados con respuesta cerca de 0.6 A/W y un tiempo de 0.1 ns ya han sido registrados.

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

2.1.1.7.4 EMPALMES Y CONECTORES

De acuerdo entre la distancia del transmisor y el receptor (o amplificador) será necesario unir tramos de la fibra.

En general se tiene dos tipos de conexión:

- Por fusión térmica (empalme).
- Conectores desmontables o conectores simples.

2.1.1.7.4.1 EMPALME

Son uniones permanentes de fibras realizadas en fabricación o en el sitio de instalación, cuando no se requiere conectar o desconectar. Existen dos tipos: Empalme por fusión o soldadura y empalme mecánico.

- **Empalme por fusión**

El empalme por fusión se realiza aplicando calor localizado en la interfaz ante dos fibras pulidas y prealineadas, causando que las fibras se ablanden y se funda simultáneamente para formar un hilo de vidrio continuo.

El calor de fusión es generado por el arco eléctrico de los dos electros conectados a una fuente de alto voltaje. Este método ofrece la atenuación óptica más baja (menor a 0.1dB) y la más alta confiabilidad. Es utilizado en enlaces de cables continuos y largos (decenas de kilómetros).

- **Empalme mecánico**

El empalme mecánico se realiza por varios métodos: empalme de tubo, empalme de acabado o estría en V. Las pérdidas de inserción para fibras multimodo fluctúan en promedio en el rango 0.1-0.2 dB, que en general es menor que conectores (0.2-3 dB). En el caso de las fibra monomodo las pérdidas son menores que 0.1 dB (con equipos de alta precisión).

2.1.1.7.4.2 CONECTORES

Los empalmes permanentes se utilizan a lo largo de la línea de transmisión, en cambio los conectores están localizados en el transmisor, amplificador y receptor.

Las características principales que distingue a los conectores uno del otro, es la técnica particular que usan para alinear los núcleos de las fibras.

Los conectores comerciales más utilizados son:

- **FC** que se usan en la transmisión de datos y en las comunicaciones (generalmente 0.1-0.2 dB de pérdida).
- **LC y MT-Array** que se utiliza en transmisión de alta densidad de datos.
- **SC y SC-Dúplex** se utiliza en la transmisión de datos.
- **ST** se usan en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

2.1.1.8 DISEÑO DE ENLACES POR FIBRA ÓPTICA

A continuación se presenta los fundamentos principales para realizar diseños de enlaces ópticos, los cuales ayudaran en el desarrollo del presente diseño.

2.1.1.8.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Existen dos parámetros fundamentales que son los más importantes en un diseño para una aplicación específica.

- Velocidad binaria de transmisión **AB**, en Mbps o frecuencia en MHz
- Distancia de transmisión **L**, o longitud entre repetidores intermedios o longitud del enlace.

AB está ligada directamente a la dispersión de la fibra y **L** a su atenuación.

Adicionalmente otros parámetros deben ser especificados en el diseño, los más importantes son:

- Formato de modulación digital o analógica.
- Fidelidad del sistema, la cual depende del formato de modulación:
 - a. Bit error rate (BER) en sistemas digitales.
 - b. Relación señal a ruido (SNR) y distorsión de señal en sistemas análogos.
- Costo total del sistema incluso costo de mantenimiento y de instalación.
- Confiabilidad del sistema (tiempo de vida útil: 10-15 años).

- La habilidad para ampliar el sistema. Este último factor es muy importante y puede ser interpretado como la habilidad para aumentar el producto **(AB)L**, con un mínimo costo adicional, y con un mínimo reemplazo de equipos.

2.1.1.8.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTICOS

Para un dimensionamiento de transmisión óptico, es necesaria la correcta selección de los componentes (longitud de onda, fibra óptica, fuente y detector óptico), en base a diversos criterios y la determinación de la factibilidad del enlace calculando la máxima distancia entre transmisor y receptor, considerando las limitaciones por atenuación y dispersión.

2.1.1.8.2.1 LONGITUD DE ONDA

Hay que considerar dos factores fundamentales, las pérdidas de las fibras y las características de dispersión.

Existen tres ventanas de transmisión para la fibra óptica la primera ventana de 850nm prácticamente no se usa porque su atenuación es muy alta, por lo cual cubre cortas distancias. La segunda ventana en 1310nm se usa en sistemas de baja y media velocidad, en redes locales y urbanas. La tercera ventana de 1550nm se usa para sistemas de alta velocidad y largo alcance. La figura II-19 se muestra la atenuación de la fibra óptica en función de la longitud de onda.

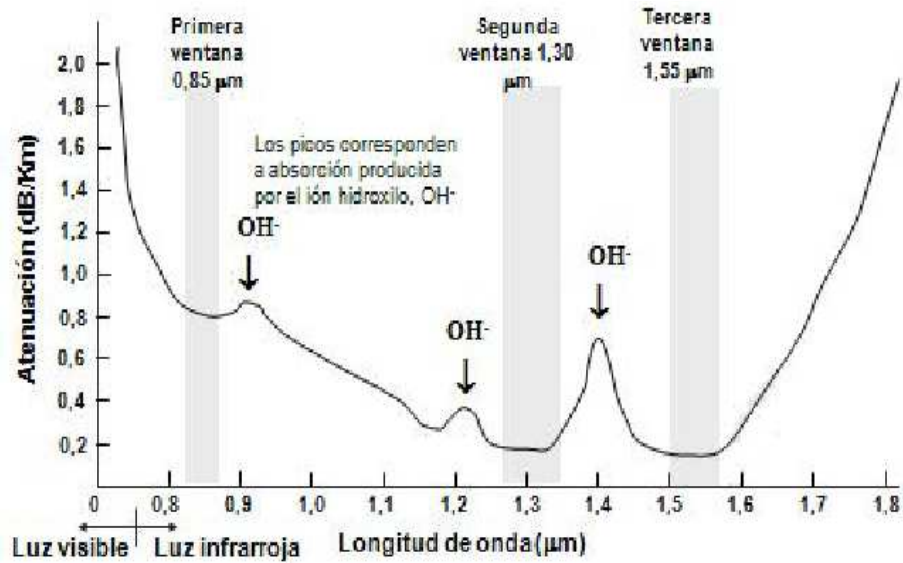


Figura II-19: Atenuación de la fibra óptica en función de la longitud de onda.

2.1.1.8.2.2 FIBRA ÓPTICA

El tipo apropiado debe ser seleccionado mediante consideraciones de pérdidas ópticas (atenuación por unidad de longitud) y dispersión.

Las que se usan son las monomodo (menor atenuación y dispersión) y en menor escala, las multimodo gradual. Se considera velocidad media, cuando la velocidad de transmisión es inferior a 100Mbps y corto alcance cuando la distancia del enlace es menor a 15Km.

2.1.1.8.2.3 FUENTES ÓPTICOS

Los LASER son superiores en todo aspecto a los LED, excepto en el costo y a la complejidad de construcción. Normalmente a los LASER se los usa en sistemas de

largo alcance y alta velocidad, porque tienen gran potencia de salida, pequeño ancho espectral, a diferencia de los LED que se usan en sistemas de corto alcance.

2.1.1.8.2.4 DETECTORES ÓPTICOS

Los APD destacan por su alta velocidad de respuesta y gran sensibilidad, por lo igual que los LASER se usan en sistemas de largo alcance y alta velocidad de transmisión, mientras que los fotodiodos PIN se usan en redes urbanas y de menor capacidad de transmisión.

2.1.1.8.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El propósito es transmitir una velocidad binaria deseada sobre una longitud L y lograr el **BER** especificado para lo cual se puede considerar los siguientes pasos:

- Determinar el máximo BER tolerable del sistema óptico, un BER de 10^{-10} es aceptable, según la Recomendación UIT-G957.
- Determinar el producto $(AB) L$ requerido para el sistema.
- Seleccionar la fuente óptica más apropiada para el sistema con su respectiva potencia de transmisión P_T (valor del fabricante). Están entre -5-2 dBm para el LASER y de -30 a -20 dBm para LEDs.
- Seleccionar el detector óptico más apropiado con su respectiva potencia de recepción mínima P_R (valor del fabricante). Está en el rango -60 a -27 dBm.
- Determinar las pérdidas máximas α_{max} del sistema tomando la diferencia entre P_T y P_R ($\alpha_{max} = P_T - P_R$, en dB).
- Determinar las pérdidas totales de todos los empalmes en el enlace α_e , dB.

- Determinar las pérdidas totales de todos los conectores α_c , en dB (valor del fabricante). Esta entre 0,5 y 1 dB.
- Determinar el margen de reserva, en dB, para el sistema que incluye:
 - a. Margen del equipo ($M_e = 2$ a 3 dB), que considera las degradaciones del equipo por fluctuaciones de temperatura u otras.
 - b. Margen del cable ($M_c = 1$ a 2 dB), por roturas, separaciones, nuevos trayectos, etc.
- Determinar las pérdidas totales α_T que pueden ser permitidas a las fibra en el enlace, así:

$$\alpha_T = (P_T - P_R) - (\alpha_e + \alpha_c M_e + M_c)$$

- Determinar la longitud máxima permisible del enlace L_{max} considerando el coeficiente de atenuación de la fibra α (valor del fabricante).

$$L_{max} = \frac{\alpha_T}{\alpha} [Km]$$

- a. Si $L_{max} > L$; entonces el diseño del sistema es satisfactorio.
- b. Si $L_{max} < L$; entonces el diseño del sistema no es satisfactorio y se deberá considerar otras opciones como: seleccionar una fuente con mayor potencia de transmisión, un detector más sensible, una fibra óptica con coeficiente de atenuación menor, considerando estas opciones se logrará aumentar L_{max} .

El análisis de pérdida (o presupuesto de pérdidas), se lo debe realizar considerando el PEOR DE LOS CASOS para los varios parámetros y con un margen de potencia razonable.

CAPÍTULO III

3.1 FASTNET CÍA. LTDA.

3.1.1 RED ACTUAL DE FASTNET CÍA. LTDA.

3.1.1.1 INTRODUCCIÓN

Finalizado el fundamento teórico que servirá para un conocimiento más profundo de varios de los temas a utilizar y desarrollar, se comienza examinando la red que la empresa FASTNET CÍA. LTDA., ha logrado implementar en la ciudad de Riobamba, así como también los diversos servicios que la misma provee a sus clientes.

Por último se profundiza en el estudio de la capacidad que el backbone de la empresa FASTNET CÍA. LTDA. Se debe tener en cuenta que en el presente capítulo se presenta solo datos que pueden ser expuestos al público, debido a la política de confidencialidad de la empresa.

3.1.1.2 ESTRUCTURA DE LA RED

Gracias a la gran demanda de servicios de transmisión de datos y el crecimiento de clientes que la empresa FASTNET CÍA. LTDA. mantiene, además de poseer una demanda de servicios nuevos en el mercado, FASTNET CÍA. LTDA. se ha visto en la necesidad de expandir su servicio con el fin de capturar mercados potenciales para la provisión de comunicación de datos.

Para un mejor entendimiento de la estructura actual que posee la empresa se puede observar el diagrama de la configuración de la red en la Figura III- 20. Se ha creído conveniente dar una explicación individual y detallada de cada uno de los nodos que posee la red de FASTNET CÍA. LTDA. en la ciudad de Riobamba.

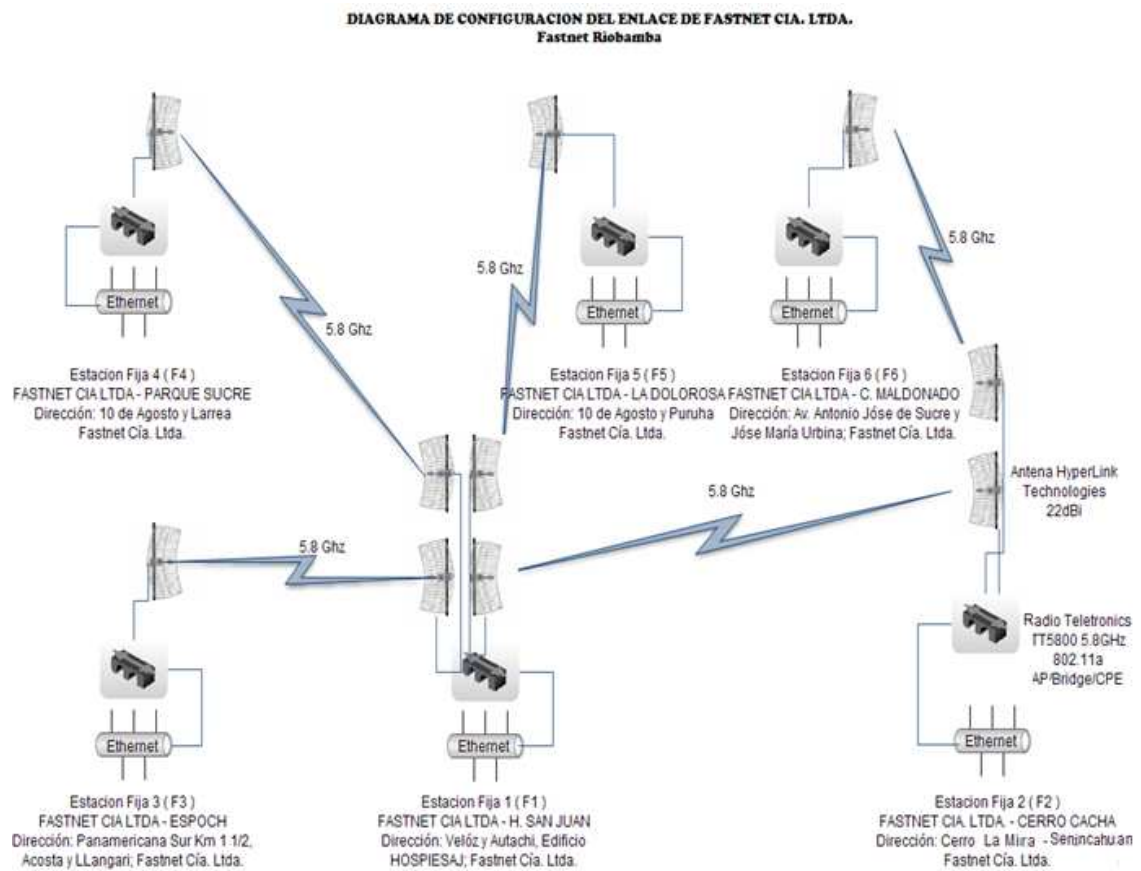


Figura III- 20: Diagrama de configuración del enlace principal de FASTNET CÍA. LTDA.

3.1.1.2.1 RED ACTUAL PARQUE SUCRE

Está conformada por un solo nodo cuyo enlace principal proviene desde el Hospital San Juan hacia el nodo Parque Sucre por medio de un enlace de microondas a una frecuencia de 5,8GHz.

Se recepta la señal mediante un enlace punto a punto con una antena HyperLink Technologies 22dBi hacia un radio Teletronics TT5800 5.8GHz. Para el acceso a los clientes se ubica en este nodo un switch 3Com de 8 puertos, mediante cable UTP Categoría 5e llega el servicio de internet, en este nodo se tiene 21 clientes los cuales suman en total una capacidad 1,024Mbps repartida en los diferentes planes (se detallan los planes ofrecidos por la empresa en el ANEXO 1). Como se describe en la Figura III- 21.



Figura III- 21: Red Actual Parque Sucre.

3.1.1.2.2 RED ACTUAL LA DOLOROSA

Esta red está conformada por un nodo, La Dolorosa el cual recibe el enlace microondas desde el hospital San Juan hacia una antena HyperLink Technologies 22dBi

y a un radio Teletronics TT5800 5.8GHz. Para el acceso a los clientes se ubica un switch D'Link de 8 puertos desde donde se conecta a equipos Ubiquiti NanoStation a 2,4GHz y mediante tecnología de última milla Wireless Local Loop (WLL) se llega a estos a más de utilizar los puertos del switch para clientes cercanos así se puede observar en la Figura III- 22. Este nodo tiene 18 clientes los cuales suman en total una capacidad de 0,768 Mbps.



Figura III- 22: Red actual La Dolorosa.

3.1.1.2.3 RED ACTUAL COLEGIO MALDONADO

Su enlace principal llega desde el cerro Senincahuan mediante un enlace punto a punto hacia equipos Teletronics TT5800 5.8GHz y desde donde para el acceso a clientes se ubica un switch D'Link de 8 puertos y hacia equipos Ubiquiti NanoStation para usar tecnología de última milla Wireless Local Loop (WLL). Así se observa en la Figura III- 23. Este nodo posee en total 11 clientes los cuales suman una capacidad 0.640Mbps.

Se debe tener presente que la interconexión al cerro Senincahuan (Cerro La Mira – Senincahuan (Fuente: www.conatel.gov.ec/coordenadasdereferencia)), así como los

repetidores principales de FASTNET CÍA. LTDA. serán explicados con mayor detalle en un apartado posterior a este tema.

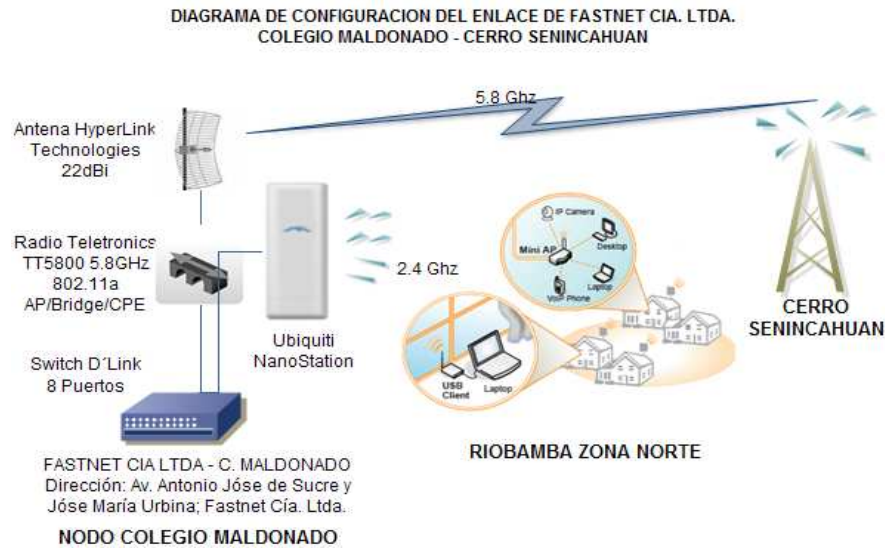


Figura III- 23: Red Actual Colegio Maldonado.

3.1.1.2.4 RED ACTUAL ESPOCH

Está constituida por el nodo ESPOCH (ver Figura III- 24) el cual de la misma manera que los nodos anteriores recibe la señal de microondas mediante equipos Teletronics TT5800 5.8GHz desde el HOSPITAL SAN JUAN y desde donde se ubica un Switch 3Com de 8 puertos y de donde se reparte el Internet a cada uno de los clientes y a más de esto se ubica equipos Ubiquiti NanoStation para acceder usando tecnología de última milla Wireless Local Loop (WLL). Actualmente este nodo posee 27 clientes y suman una capacidad de 1,28Mbps.

DIAGRAMA DE CONFIGURACION DEL ENLACE DE FASTNET CIA. LTDA.
ESPOCH - HOSPITAL SAN JUAN

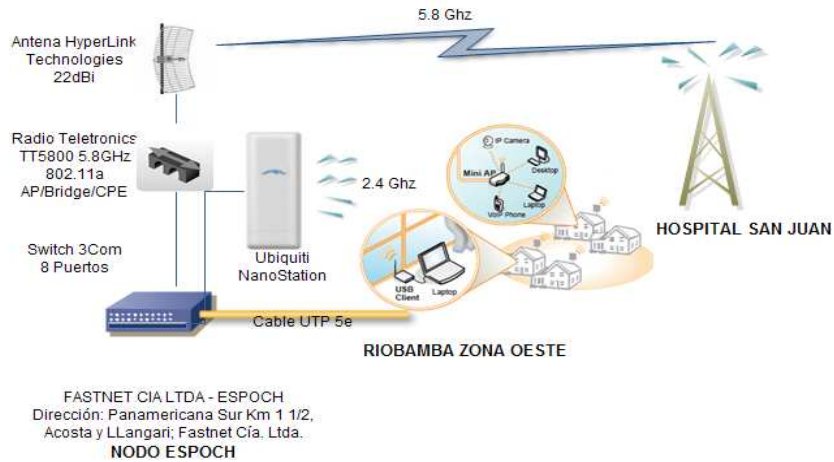


Figura III- 24: Red Actual ESPOCH.

3.1.1.2.5 RED ACTUAL HOSPITAL SAN JUAN

La Topología Actual del Enlace de Comunicación principal del ISP Fastnet, usa una conexión de Fibra Óptica para la salida hacia el mundo y para la distribución de sus servicios a los clientes utiliza la tecnología de última milla Wireless Local Loop (WLL) con Radio Enlaces que trabajan en las frecuencias de 2.4 GHz y 5.2 GHz; Cable UTP Categoría 5e y Cable Telefónico para el Sistema ADSL.

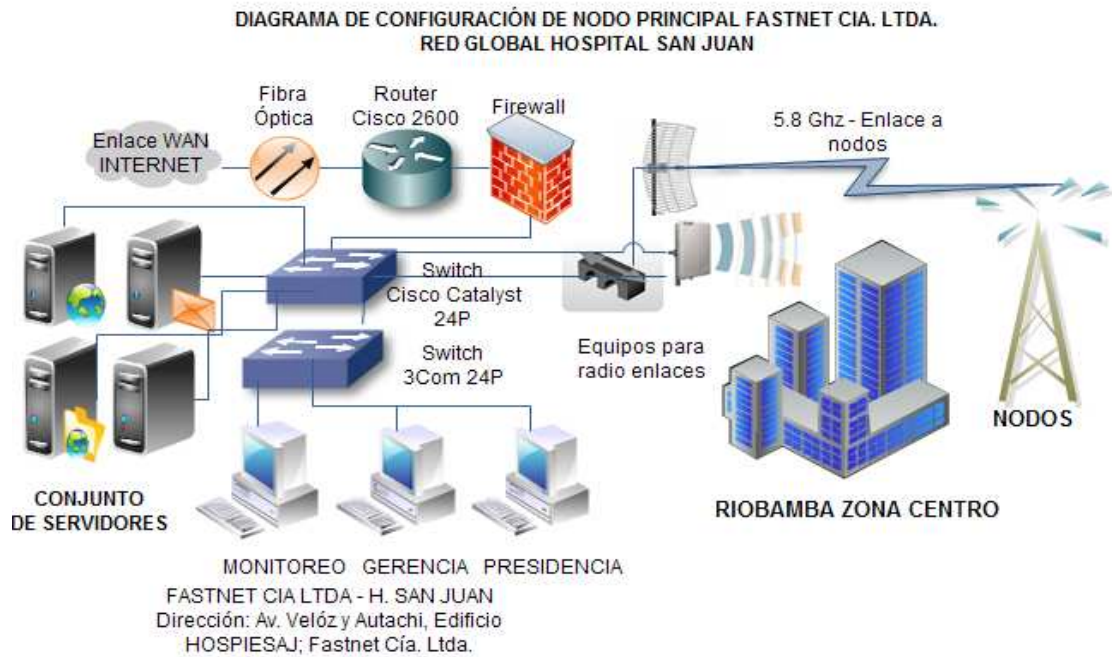


Figura III- 25: Red Global Hospital San Juan.

Como se observa en la Figura III- 25, la conformación actual de la red; la conexión hacia la red WAN se recibe a través de fibra óptica monomodo G.655 hacia un router Cisco serie 2600, atraviesa un Firewall para dirigirse a un switch Cisco Catalyst de 24 puertos conformando así un Backbone y desde donde se distribuye a un switch 3Com de 24 puertos y a las torres ubicadas en el Hospital San Juan para el acceso de los clientes.

En las torres se ubican equipos Teletronics que trabajan a frecuencias de 5,8 Ghz para realizar las respectivas conexiones entre los diferentes nodos mencionados anteriormente a más de tener un enlace principal entre el cerro Seninchuan desde el cual aprovechando la línea de vista hacia la ciudad de Riobamba se realiza conexiones punto a punto con varios nodos que quedan lejos del alcance del nodo principal así se forma un Backbone inalámbrico con la red principal.

Este nodo cubre gran parte de la ciudad y desde donde se ubican varios respaldos hacia algunos nodos con equipos ReadyLINK y equipos Ubiquiti NanoStation para llegar hacia los clientes.

Este nodo es el más grande y a la vez posee la mayor cantidad de clientes en total 56 divididos en varios planes, y suman una capacidad de 6Mbps.

3.1.1.3 CAPACIDAD ACTUAL DEL BACKBONE DE FASTNET

Según las especificaciones técnicas del equipo Teletronics, la velocidad de transmisión de datos es de 54Mbps o menor, y además dependen de varios factores como tiempo de transmisión, distancia del enlace, entre otros. Mediante estos equipos se realizan las conexiones hacia todos los nodos formando un backbone principal inalámbrico entre el cerro Senincahuan y el hospital San Juan y además teniendo su backbone de red global ubicado en dicho hospital.

Para mejorar este backbone inalámbrico se han colocado equipos ReadyLYNK (serie PTP) con antenas direccionales apuntadas al cerro y en este se han colocado también 2 equipos ReadyLYNK (serie AP) con antenas sectoriales mejorando así la distribución a los clientes. Con estos equipos la velocidad de transmisión se puede aumentar de 54Mbps a 108Mbps.

Los enlaces existentes son únicamente de microondas, por lo cual dichos enlaces no pueden soportar gran cantidad de tráfico, debido a que se encuentran dimensionados por las características técnicas de los equipos de microondas, como son: velocidad de transmisión menores a 54Mbps ya que la infraestructura principal está constituida por equipos Teletronics, distancia promedio de 10Km, potencia de transmisión de 20dBm.

Para poder calcular el tiempo en que se saturará la red de microonda implementada en esta ciudad debido al crecimiento de telecomunicaciones, se calcula el ancho de banda actual de la red.

$$AB_{TOTAL} = AB_{PARQUE\ SUCRE} + AB_{LA\ DOLOROSA} + AB_{C.MALDONADO} + AB_{ESPOCH} \\ + AB_{H.SAN\ JUAN}$$

$$AB_{TOTAL} = 1,024Mbps + 0,768Mbps + 0,640Mbps + 1,28Mbps + 6Mbps$$

$$AB_{TOTAL} = 9,712Mbps$$

Para analizar las características del backbone actual que posee Fastnet Cía. Ltda. se realiza la proyección de tráfico en la red actual.

Utilizando la ecuación siguiente (será explicada en el próximo capítulo):

$$Cf = Ci (1 + X)^n$$

Donde:

- Cf = Capacidad estimada en n años
- Ci = Capacidad Actual
- X = Índice de crecimiento anual del servicio de telecomunicaciones
- n = Tiempo de proyección en años

Se toma C_f a la capacidad de diseño que soportan los equipos y ésta es de 54Mbps. El índice de crecimiento de servicio de telecomunicaciones se toma en base a los datos que maneja la empresa en cuanto a las ventas del servicio de Internet de acuerdo al número de clientes por año, con lo cual el índice de crecimiento es del 60% anual.

Aplicando la relación de proyección de tráfico:

$$54Mbps = 9,712Mbps (1 + 0,6)^n$$

$$n = 3,6\text{años.}$$

Entonces se puede diagnosticar que la red actual de microondas en la ciudad de Riobamba tiene un tiempo de proyección de 3,6años antes de empezar a saturarse.

En las redes de la empresa FASTNET CÍA. LTDA. están presentes en su gran mayoría enlaces de microonda, por lo que debido a las condiciones atmosféricas, pueden presentarse problemas de propagación en dichos enlaces, que provocan atenuaciones en la señal, lo cual incrementa la tasa de error (BER).

De acuerdo al diagnóstico presentado se sugiere lo siguiente:

Realizar el diseño de la red de Fibra Óptica la cual servirá como Backbone principal para la red actual, quedando los enlaces microondas como sistema de respaldo, se puede observar en la Figura III-26 la línea de color rojo el sistema propuesto. Con lo cual la empresa aumentará el ancho de banda proyectándose a futuro.

Además la empresa brinda conexión de ultima milla con fibra óptica a varios clientes pero este servicio es dado por otras empresas, así estos usuarios se conectarán directamente a la red de Fibra Óptica, ofertando este servicio a un mayor número de clientes.

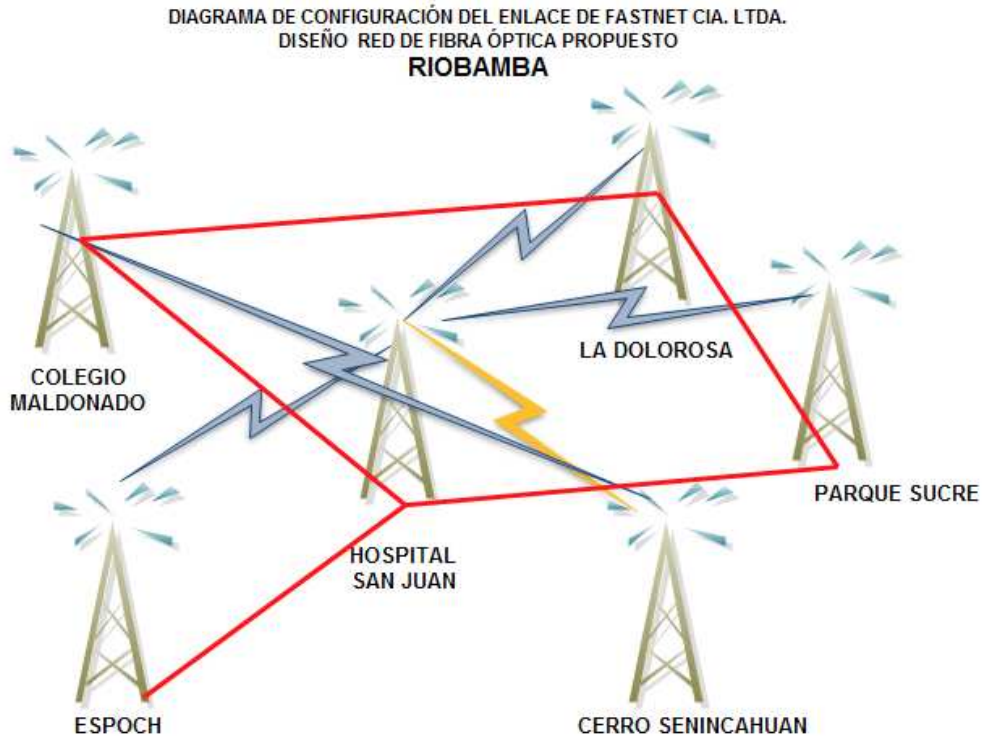


Figura III- 26: Diagrama del Backbone de Fibra Óptica.

CAPITULO IV

4.1 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA

4.1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el estudio de demanda de los servicios proporcionados por la empresa FASTNET CÍA. LTDA., en cada una de las subredes que conforman el sistema en la ciudad de Riobamba, que se deben tomar en cuenta para determinar la capacidad actual de la red.

A partir del estudio y la capacidad actual de la red, se realizará la proyección de tráfico estimado en 10 años, el constante desarrollo de las telecomunicaciones hace que se considere 10 años como un tiempo considerable para explotar la tecnología actual antes de empezar a pensar en otra tecnología, los datos obtenidos por la proyección

de tráfico ayudarán a realizar el diseño del sistema de fibra óptica presentando los respectivos cálculos.

Se mostrará los resultados de los estudios de campo necesarios, de tal manera que permitan determinar los respectivos nodos ubicados en la ciudad de Riobamba por los cuales atravesará el tendido de fibra óptica, analizando las diferentes dificultades que se puedan presentar.

También se presenta las características de los diferentes equipos a utilizar en el respectivo diseño del sistema de fibra óptica.

4.1.2 ESTUDIO DE DEMANDA

El estudio de demanda se realiza en base a los datos estadísticos de facturación de la empresa FASTNET CÍA. LTDA. Se debe tener presente que la información proporcionada de datos de facturación, abarca todos los servicios proporcionados por la empresa.

En este estudio se presenta solo datos que pueden ser expuestos al público, debido a la política de confidencialidad de la empresa.

A continuación se presenta los datos estadísticos de facturación anual desde el año 2006 cuando la empresa empezó con su funcionamiento hasta el año 2009 de cada subred que conforma el sistema de la empresa en la ciudad de Riobamba. También se presenta los porcentajes del crecimiento de la demanda con sus respectivas gráficas.

4.1.2.1 RED HOSPITAL SAN JUAN

TABLA IV-1: Datos de Facturación y crecimiento de demanda de la Red Hospital San Juan.

	AÑOS	DATOS DE FACTURACIÓN (\$)	DATOS DE LINEA DE TENDENCIA (\$)	CRECIMIENTO DE DEMANDA
1	2006	18246,97	17117,40	
2	2007	23460,39	25980,20	51,78%
3	2008	36493,94	34843,00	34.11%
4	2009	43445,16	43705,80	25,44%

La red hospital San Juan es la principal en la topología actual y la curva de facturación como se puede apreciar de la Figura IV-27 se asemeja a una línea recta (línea roja, Curva de Facturación), es por esto que se puede utilizar una línea de tendencia (Herramienta del programa computacional Microsoft Excel que permite aproximar una gráfica de cualquier tipo a una gráfica conocida, la línea de tendencia puede ser lineal, exponencial, entre otras), método que se utiliza para analizar cada una de las redes parciales actuales de FASTNET CÍA. LTDA. En este caso se aproxima a una función lineal (línea negra, línea de tendencia), y así se calcula el crecimiento de demanda que se encuentra en la TABLA IV-1.

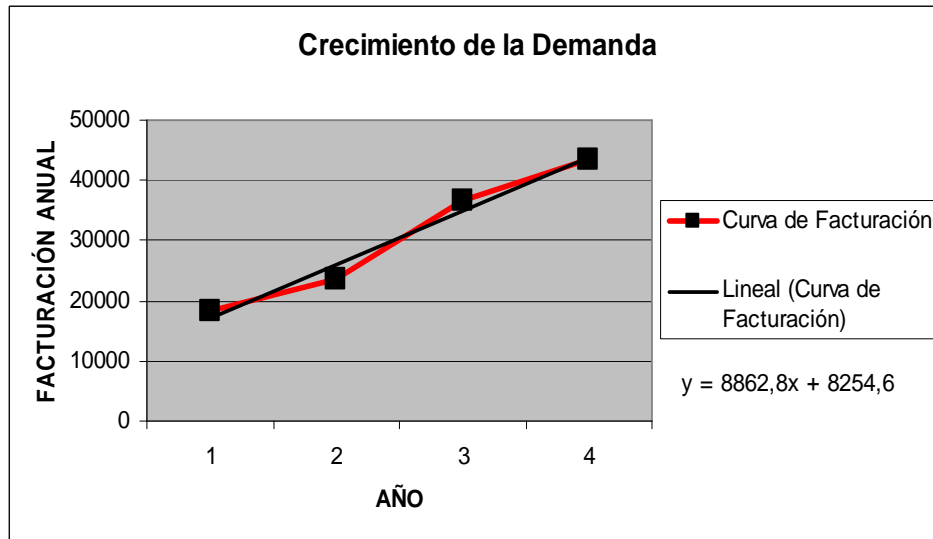


Figura IV- 27: Datos de Facturación y crecimiento de demanda de la Red Hospital San Juan.

4.1.2.2 RED ESPOCH

TABLA IV-2: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red ESPOCH.

	AÑOS	DATOS DE FACTURACIÓN (\$)	DATOS DE LINEA DE TENDENCIA (\$)	CRECIMIENTO DE DEMANDA
1	2006	11295,74	10557.10	
2	2007	13033,55	14163,00	34,16%
3	2008	17812,52	17768,90	25,46%
4	2009	21722,58	21374,80	20,29%

Esta red está ubicada junto a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y con el desarrollo de esta institución educativa y su alrededor también se tienen importantes ingresos como se observa en la TABLA IV-2. Mientras en la Figura IV- 28 la gráfica se asemeja a una recta, es por esto que se puede utilizar una línea de tendencia para aproximar a una función lineal. Después de aproximar a una función lineal, se calcula el crecimiento de demanda que se encuentra en la TABLA IV-2.

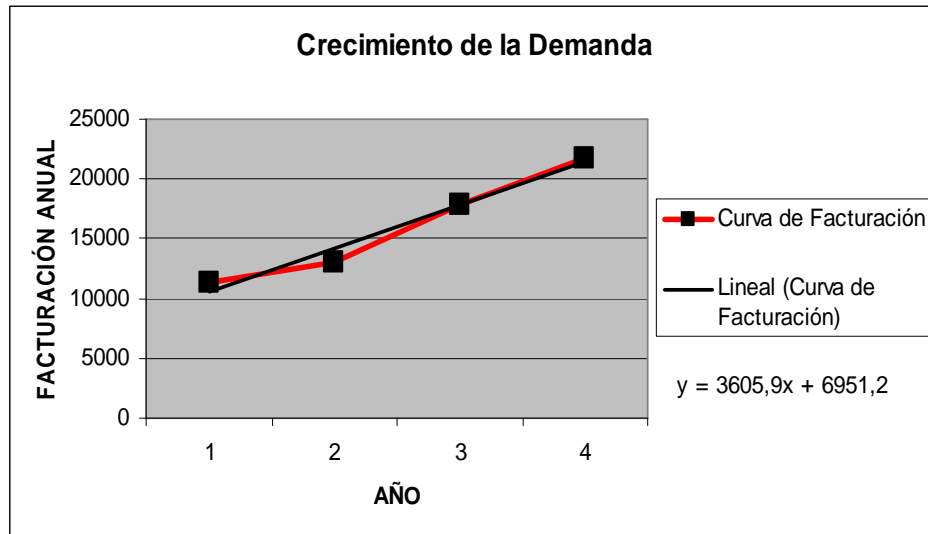


Figura IV- 28: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red ESPOCH.

4.1.2.3 RED PARQUE SUCRE

TABLA IV-3: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red Parque Sucre.

	AÑOS	DATOS DE FACTURACIÓN (\$)	DATOS DE LINEA DE TENDENCIA (\$)	CRECIMIENTO DE DEMANDA
1	2006	5213,42	5022,20	
2	2007	7125,01	7133,60	42,04%
3	2008	8689,03	9245,00	29,60%
4	2009	11730,19	11356,40	22,84%

La Red Parque Sucre complementa el alcance de la red Hospital San Juan en el centro de la ciudad, representando en su facturación un ingreso significativo y acorde al crecimiento del sector. Al igual que las anteriores gráficas en la Figura IV- 29 se observa un crecimiento lineal en la curva de facturación por lo que se utiliza una línea de tendencia para aproximar a una función lineal, y luego se calcula el crecimiento de demanda en la TABLA IV-3.

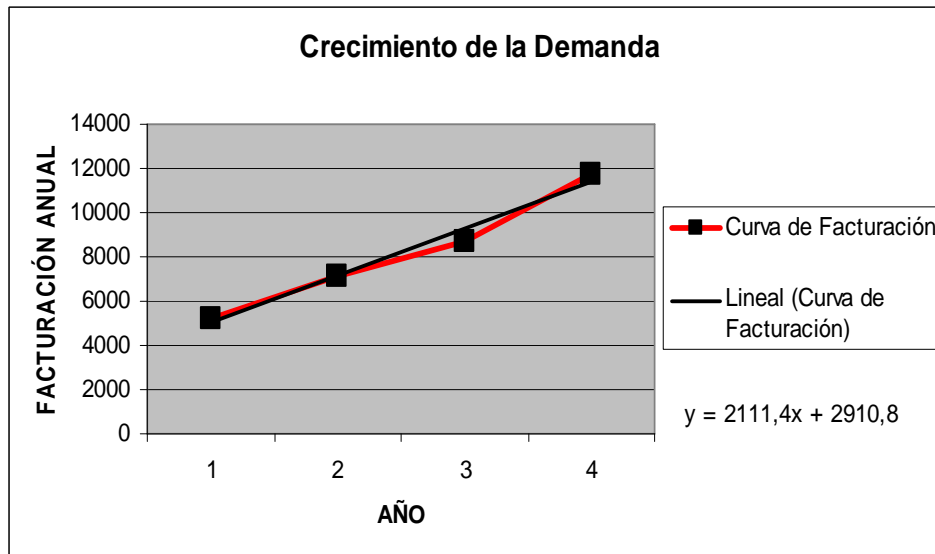


Figura IV- 29: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red Parque Sucre.

4.1.2.4 RED LA DOLOROSA

TABLA IV-4: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red la Dolorosa.

	AÑOS	DATOS DE FACTURACIÓN (\$)	DATOS DE LINEA DE TENDENCIA (\$)	CRECIMIENTO DE DEMANDA
1	2006	9557,94	8428,39	
2	2007	15205,81	17834,29	111,60%
3	2008	29108,26	27240,19	52,74%
4	2009	36276,71	36646,09	34,53%

En la actualidad la Red la Dolorosa provee a una gran cantidad de clientes, casi en su totalidad planes corporativos siendo estos los que representan mayores ingresos en la facturación de la empresa, es por esto que su crecimiento es notable. La curva de facturación puede ser aproximada a una línea de tendencia lineal, debido a su crecimiento lineal Figura IV- 30, y su demanda está representada en la TABLA IV-4.

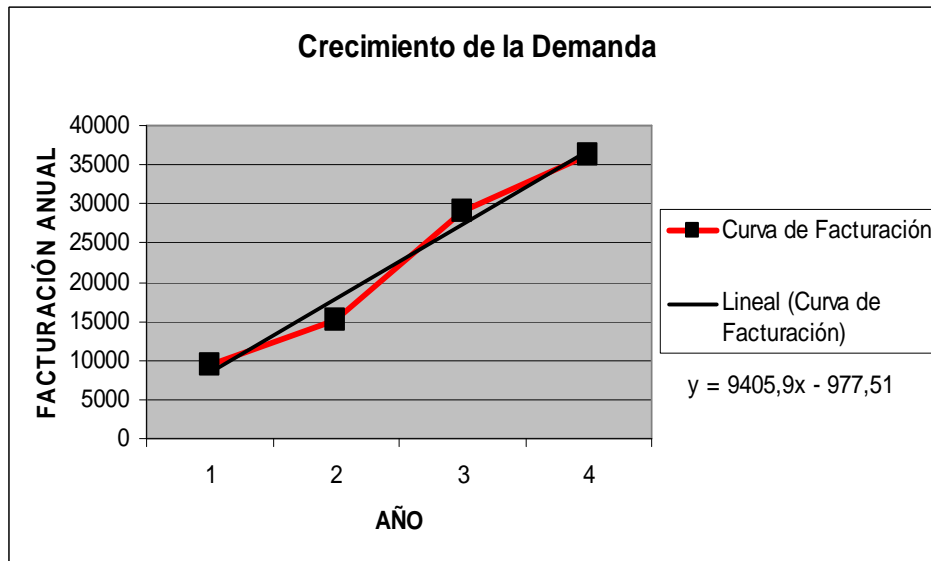


Figura IV- 30: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red la Dolorosa.

4.1.2.5 RED COLEGIO MALDONADO

TABLA IV-5: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red Colegio Maldonado.

	AÑOS	DATOS DE FACTURACIÓN (\$)	DATOS DE LINEA DE TENDENCIA (\$)	CRECIMIENTO DE DEMANDA
1	2006	2461,89	4370,80	
2	2007	9268,30	6721,00	53,77%
3	2008	9702,75	9071,20	34,97%
4	2009	10150,92	11421,40	25,91%

En Figura IV- 31 en la curva de facturación se puede observar el notable crecimiento entre el año 2006 y 2007, en el año 2006 la empresa no puso énfasis en este sector, pero con la el desarrollo de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) vía Guano y su alrededor se obtuvo potenciales clientes proponiendo así el disparo en la

facturación. Hoy en día este sector se mantiene en crecimiento. Por esta razón la gráfica mediante una línea de tendencia se puede aproximar a una función lineal.

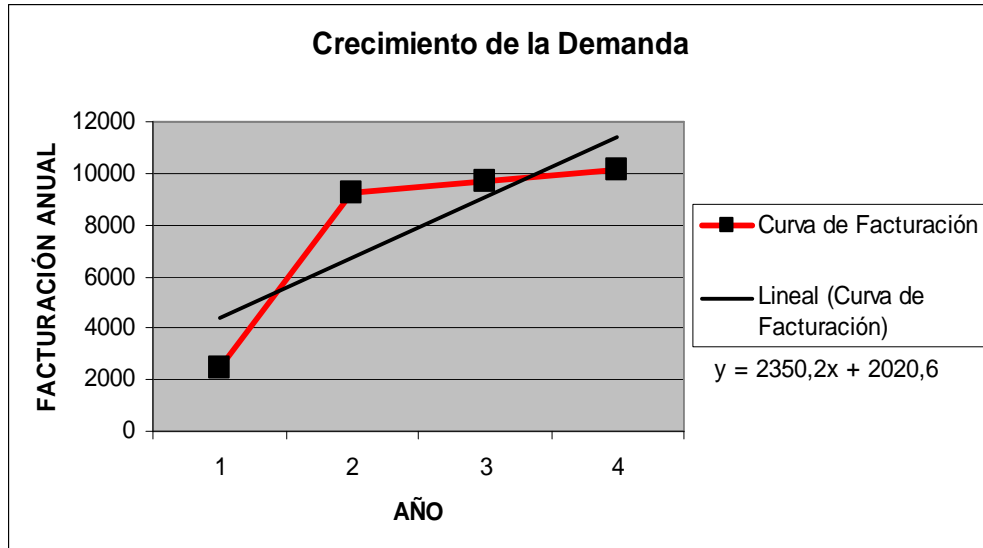


Figura IV- 31: Datos de Facturación y crecimiento de demanda en la Red Colegio Maldonado.

Los datos calculados del crecimiento de la demanda para la Red del Colegio Maldonado se encuentran en la TABLA IV-5.

4.1.3 SELECCIÓN DE LA RUTA

El trazado o ruta del cable de fibra óptica para la red de FASTNET CÍA. LTDA., se lo realiza estratégicamente por las vías y avenidas de la ciudad de Riobamba, puesto que éstas reúnen los requisitos de accesibilidad para la instalación y el mantenimiento de la red, logrando enlazar cada uno de los nodos principales de distribución de servicios inalámbricos cubriendo la ciudad casi en su totalidad; además de cumplir con el primer objetivo el de enlazar los nodos se tendrá a disposición varios hilos de fibra óptica para brindar otros servicios es decir abarcar mayor número de clientes, cumpliendo con uno

de los objetivos de una red de telecomunicaciones que es precisamente la penetración del servicio a la mayor cantidad de población.

En el ANEXO 2 se presenta un mapa con el recorrido del sistema de fibra óptica que atraviesa la ciudad de Riobamba enlazando cada uno de los nodos principales de la red de FASTNET CÍA. LTDA.

El tendido de la fibra óptica será aéreo a través de postes que es el más conveniente por las siguientes razones:

- Se acomoda a la disposición de la topología e infraestructura de la ciudad de Riobamba.
- Es menos costoso.
- Facilita la revisión y corrección de errores ocasionado por roturas de la Fibra.
- La instalación es mucho más sencilla que las otras como se puede observar en el ANEXO 3.
- Es de muy fácil acceso para la revisión y mantenimiento de la red.
- Permiten la revisión continua de la tensión de tendido del cable durante la instalación. Los aumentos repentinos en la tensión de tendido, causados por factores tales como un cable cayéndose de un soporte o un cable aplastándose contra los accesorios de la línea del poste, se pueden detectar de inmediato.

A continuación se presentan algunas recomendaciones del tendido aéreo de fibra óptica que hay que tener presente al momento de ejecutarlo:

- No exceder el radio mínimo de curvatura. Un cable demasiado doblado puede deformarse y dañar la fibra adentro, además de causar una alta atenuación.

- No exceder la tensión de tendido máxima. Una tensión de tendido excesiva hará que el cable se alargue permanentemente. El alargamiento puede causar que la fibra óptica falle al fracturarse. Las buenas técnicas de construcción y el equipo de monitoreo adecuado de tensión son esenciales.
- Se debe colocar suficientes soportes de cables a lo largo de la ruta para disminuir al máximo los pandeos del cable. El pandeo excesivo aumentará la tensión de tendido.

Otros parámetros que se deben tener en cuenta en el tendido aéreo de la fibra son:

Los bucles de exceso y cajas de empalme. Los bucles de exceso (Ver Figura IV- 32) ayudan para facilitar la realización del empalme, así como también en la futura reubicación de los postes. Por lo general, se reserva a intervalos regulares durante la instalación un 5% de la extensión total del cable de fibra óptica, es decir de la longitud total del carrete de fibra óptica.

Se recomienda colocar los bucles a no más de 1 milla (1,6 km) de distancia en un camino principal y en cada cruce de vías. El radio del bucle no debería ser menor que el radio mínimo de curvatura del cable de fibra óptica.

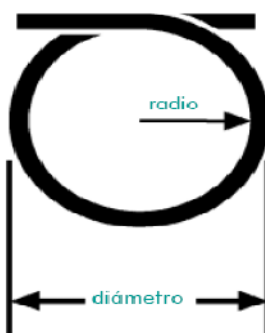


Figura IV- 32: Bucles de exceso de fibra óptica.

Las cajas de empalme sirven para proteger del entorno tanto el cable de fibra óptica pelado como los empalmes. Para el presente diseño dichas cajas se ha establecido colocarlas en los postes o a su vez de acuerdo a la longitud en los respectivos nodos, puesto que esto facilita la revisión de los empalmes en caso de que se presente algún problema en la red. (Ver Figura IV- 33)

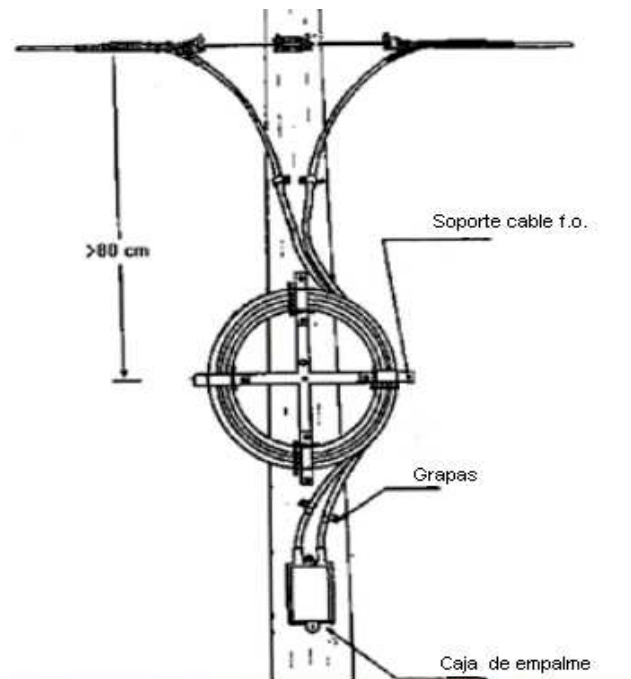


Figura IV- 33: Caja de empalmes montada sobre un poste.

4.1.4 TIPO DE FIBRA ÓPTICA

En el cálculo de un enlace óptico es de primordial importancia determinar la fibra óptica existente en el mercado de acuerdo a las consideraciones requeridas en el sistema, es decir, se debe escoger la fibra que presente entre sus principales características baja atenuación y menor dispersión.

Como en el presente diseño se utiliza un tendido aéreo de fibra óptica, se debe tener en cuenta que existen dos recomendaciones que cumplen con los requisitos para esta clase de enlaces ópticos de alta capacidad.

Dichas recomendaciones son las siguientes:

- G.652: Características de cables de fibra óptica monomodo.
- G.655: Características de un cable de fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula.

La fibra óptica que cumple con la recomendación G.652, tiene una alta dispersión en la ventana de 1550nm, lo cual limita la distancia para las transmisiones de altas velocidades. Esta dispersión se puede disminuir algo mediante el empleo de compensadores de dispersión, lo que equivale a adicionales gastos en equipos, instalación y mantenimiento.

La fibra óptica que cumple con la recomendación G.655 se la utiliza para la transmisión en la tercera ventana a 1550nm, donde presenta dispersión nula, lo cual es primordial para transmitir a grandes distancias y altas velocidades, esto implica el ahorro en gastos adicionales debido a que no se necesita de compensadores de dispersión.

Se debe tener presente que por su mayor complejidad de construcción, una fibra óptica que cumpla con las especificaciones de la recomendación G.655 es más costosa que una fibra óptica que cumpla con la recomendación G.652, pero el costo de la fibra óptica de la recomendación G.655 se ve compensado con la no utilización de compensadores de dispersión.

Cabe resaltar que la recomendación G.655 soporta la tecnología DWDM (Multiplexación por longitud de onda densa), lo cual no es posible con la recomendación G.652.

De acuerdo a las características se ha determinado que la fibra óptica a utilizarse debe cumplir con las especificaciones de la recomendación G.655, puesto que ésta cumple con los requisitos óptimos para el diseño. La empresa FASTNET CÍA. LTDA. al utilizar dicha recomendación puede migrar con el transcurso del tiempo a la tecnología DWDM simplemente con el cambio de equipos, sin tener la necesidad de cambiar la fibra óptica, con lo cual aumentará la capacidad del sistema.

En la TABLA IV-6. Se presentan las especificaciones definidas por la UIT-T en la Recomendación UIT-T G.655, estos valores son los mínimos permitidos.

TABLA IV-6: Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no – nula (Especificación UIT-T G.655).

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Atenuación		
Atenuación a 1550 nm	dB/Km	≤0.35
Atenuación a 1625 nm	dB/Km	≤0.4
Dispersión cromática		
Dispersión cromática entre 1530 y 1565 nm	ps/nm.Km	1,0 a 10,0 (típico 8 a 1550nm)
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	ps/nm.Km	7.5 a 13.4 (típico 12 a 1625n)
Longitud de onda de dispersión nula	nm	≤1425
Medidas Físicas		
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	9.2±0.5
Diámetro de la cubierta	μm	125±1
No circularidad de la cubierta	%	≤1
Error de concentricidad núcleo/cubierta a 1550 nm	μm	≤0.6
Valores típicos		
Índice de refracción a 1550 nm		1.4692
Longitud de onda de corte	nm	1450

De las especificaciones de la Recomendación G.655 y debido a que el tendido de la fibra es aéreo se escoge un tipo de fibra óptica que cumpla dichos parámetros en el presente diseño.

En la actualidad existen dos tipos: El cable óptico dieléctrico (ADSS All Dielectric Self Supporting) utilizado en su mayoría para este tipo de sistemas y el cable de guardia

con fibras ópticas (OPGW) su utilización es recomendada cuando se trate de una línea eléctrica nueva utilizado por empresas eléctricas.

En este diseño se utiliza el cable ADSS por las características y recomendaciones que este proporciona:

- Se aplica en distancias medias y largas y en zonas de terrenos quebrados, donde la excavación sea dificultosa.
- Este tipo de cable es más económico que el OPWG y posee la ventaja de permitir su mantenimiento sin desenergizar el sistema de transporte eléctrico.
- Especialmente recomendable cuando se trata de instalaciones eléctricas existentes, donde ya se encuentre tendido el hilo de guardia.
- Este tipo de cable es suficientemente estable respecto a vientos y efectos de deshielo, con lo cual no es necesario considerar el efecto galloping en ellos.
- Puede tenderse suspendido de las propias estructuras de la línea según dos variantes:
 - Suspendido de tensor de acero independiente y sujetado mediante grapas a él.
 - Suspendido de un tensor de acero incluido en cable tipo ocho (Ver Figura IV-34). Este es el recomendado en el diseño por la longitud entre postes, además permite un modo de instalación muy económico, se instala fácilmente en postes de madera o cemento fijando el soporte metálico directamente al poste, eliminando la necesidad de un mensajero metálico. Es un diseño barato que presenta la ventaja del bajo costo de los accesorios de instalación.



Figura IV- 34: Cables de Fibra Óptica para tendido aéreo.

Una vez seleccionada la fibra óptica se determinará el bucle de exceso que será el 5% de la longitud total del carrete de fibra óptica, en la mayoría la longitud de la carreta de fibra óptica es de 4 Km (4000m), por lo tanto el bucle de exceso será de 200 m, los mismos que se repartirán en intervalos regulares cada 500 metros, teniendo 8 bucles de exceso de 25m.

Se debe considerar en el diseño las distancias de los bucles de exceso, puesto que dichas distancias influyen en la atenuación y por ende afectan a la potencia de recepción. Es por esto que por cada 500 metros de la distancia total entre nodo y nodo se debe sumar 25 metros extras.

4.1.5 ESTUDIO TOPOLÓGICO DE LA RUTA

El estudio topológico de la ruta de la fibra óptica, es realizar un análisis de campo con el fin de determinar las condiciones de vías a más de disponibilidad de postes en estas

para el tendido aéreo de la fibra, también se determina la ubicación actual de los nodos con sus respectivas coordenadas geográficas.

A continuación se presenta en la TABLA IV-7 los nodos con sus respectivas coordenadas geográficas. También en la TABLA IV-8 se indican las distancias respectivas entre nodos.

TABLA IV-7: Coordenadas geográficas de cada uno de los nodos.

NODO	ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		LATITUD	LONGITUD
HOSPITAL SAN JUAN	2809	01°39' 46" S	078° 39' 35" W
ESPOCH	2796	01° 39' 24,1" S	078° 40' 47,7" W
PARQUE SUCRE	2760	01° 40' 25" S	078° 39' 04" W
DOLOROSA	2757	01° 40' 48" S	078° 38' 33" W
COLEGIO MALDONADO	2790	01° 39' 30,2" S	078° 38' 46,2" W

TABLA IV-8: Distancias entre nodos.

NODO ORIGEN	NODO FINAL	DISTANCIA (Km)
HOSPITAL SAN JUAN	ESPOCH	3,48
HOSPITAL SAN JUAN	PARQUE SUCRE	1,8
PARQUE SUCRE	DOLOROSA	1,2
DOLOROSA	COLEGIO MALDONADO	3,7
COLEGIO MALDONADO	HOSPITAL SAN JUAN	2,68

A continuación se realiza un análisis más detallado de la ruta de fibra óptica.

4.1.5.1 NODO HOSPITAL SAN JUAN – NODO ESPOCH

El nodo Hospital San Juan está ubicado en el edificio HOSPIESAJ (Hospital de Especialidades San Juan) octavo piso en el NOC (Network Operation Center, Centro de Operaciones de Red) donde se ubica las oficinas principales de la empresa, su dirección es en la Avenida Veloz entre Autachi y Los Sauces, desde donde se pretende realizar el control de cada uno de los nodos.

La fibra sale de este nodo por la Av. Manuel Elicio Flor toma la calle Autachi hasta llegar a la Av. Daniel León Borja continua su trayecto por esta avenida hasta llegar a la Av. La Prensa en dirección al terminal terrestre de la ciudad, la fibra continúa su trayecto por la Av. Pedro Vicente Maldonado hasta llegar a la calle José de Peralta donde se dirige a la salida sur de la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) lugar en el cual se encuentra el nodo ESPOCH (ver ANEXO 2).

La ruta en su totalidad está provista de postes en buenas condiciones, mientras el nodo San Juan al estar ubicado en las oficinas principales de la empresa tiene el equipamiento e infraestructura capaz de alojar la fibra óptica hacia los demás nodos de acuerdo al diseño propuesto.

Mientras tanto el nodo ESPOCH tiene una ubicación óptima donde se puede instalar los diferentes equipos para el presente diseño.

4.1.5.2 NODO HOSPITAL SAN JUAN – NODO PARQUE SUCRE

Desde el nodo Hospital San Juan anteriormente descrito se pretende llegar al nodo Parque Sucre, la fibra óptica sale del nodo Hospital San Juan por Av. Manuel Elicio Flor

toma la Av. Daniel León Borja, continua su trayecto hasta llegar a la calle Lavalle luego llega a la calle Olmedo por donde continua, llega a la calle Juan Larrea y hasta la 10 de Agosto donde se ubica el nodo Parque Sucre (ver ANEXO 2).

Esta ruta en su totalidad tiene postes en buenas condiciones y necesarios para el tendido, mientras el nodo Parque Sucre se encuentra en una ubicación optima.

4.1.5.3 NODO PARQUE SUCRE – NODO LA DOLOROSA

Desde el nodo Parque Sucre se debe enlazar al nodo la Dolorosa, la fibra recorre la calle Juan Larrea llegando a la Olmedo, continua hasta llegar a la Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto (ver ANEXO 2) lugar en el cual se encuentra ubicado el nodo La Dolorosa.

El recorrido es corto en relación a los demás, la disponibilidad de postes es la necesaria para el trayecto de la fibra y la ubicación del nodo es correcta.

4.1.5.4 NODO PARQUE LA DOLOROSA–NODO COLEGIO MALDONADO

Desde el nodo La Dolorosa la fibra debe tenderse hacia el nodo Colegio Maldonado, el trayecto es el siguiente; la fibra óptica sale por la calle Puruha hasta llegar a la Circunvalación norte y tomar la Juan Montalvo desde donde se dirige a la Av. Antonio José de Sucre continua hasta llegar a la calle José María Urbina frente al Colegio Pedro Vicente Maldonado donde está ubicado el nodo Colegio Maldonado (ver ANEXO 2).

Con el crecimiento de este sector se impulsó el desarrollo de viabilidad teniendo postes necesarios para el tendido de la fibra, el nodo por su parte está ubicado de tal manera que cubre las expectativas de la empresa y del diseño propuesto.

4.1.5.5 NODO COLEGIO MALDONADO –NODO HOSPITAL SAN JUAN

La fibra sale desde el nodo Colegio Maldonado tomando la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Héroes de Tapi continuando hasta llegar a la calle Uruguay y hasta la calle Gonzalo Dávalos dirigiéndose a la calle Tte. Latus para seguir por la calle Junín hasta la calle Sauces y completar el recorrido llegando a las oficinas principales de FASTNET CIA. LTDA. hasta el nodo Hospital San Juan (ver ANEXO 2).

De la misma manera esta ruta por estar dentro de la ciudad no hay dificultades con la cantidad de postes necesarios para el tendido.

De esta manera se logra cerrar el anillo de fibra óptica y así se cuenta con un sistema de redundancia. En la TABLA IV-9 se puede observar la distancia entre cada nodo a más de la distancia real D' de fibra óptica entre estos es decir una vez añadido el bucle de exceso.

TABLA IV-9: Distancia entre nodos con sus respectivos bucles de exceso.

NOMBRE DEL ENLACE	DISTANCIA ENTRE NODOS (Km)	BUCLE EN EXCESO (Km)	DISTANCIA D' (Km)
Hospital San Juan - ESPOCH	3,48	0.174	3,654
Hospital San Juan – Parque Sucre	1,8	0.09	1,89
Parque Sucre – La Dolorosa	1,2	0.06	1,26
La Dolorosa – Colegio Maldonado	3,7	0,185	3,885
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	2,68	0,134	2.814
TOTAL FIBRA ÓPTICA			13,503

4.1.6 PROYECCIÓN DE TRÁFICO RARA EL SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA

En el presente diseño se debe tomar en cuenta que el sistema final tendrá que soportar el tráfico en conjunto de todos los nodos que conforman la red de la empresa FASTNET CÍA. LTDA.

Para determinar la capacidad de tráfico que deben soportar los equipos el sistema de fibra óptica se toman dos consideraciones muy importantes que son:

1. Los datos proporcionados por el Departamento de Comunicación de FASTNET CÍA. LTDA. quienes continuamente elaboran reportes de tráfico de cada uno de los nodos mediante los cuales se proporciona el servicio de Telecomunicaciones. En la TABLA IV-10: se presenta el tráfico que actualmente

soporta la topología actual de la red identificando cada uno de los nodos principales distribuidos en la ciudad de Riobamba.

2. El índice de crecimiento de servicio de telecomunicaciones que se lo toma del estudio de demanda anteriormente realizado que es del 25,80% anual.

En base a estas consideraciones se realiza el dimensionamiento de la red, que consiste en proyectar la matriz de tráfico actual para 10 años, es decir hasta el año 2019 con el criterio de que para ese año se considera el mayor rendimiento de la red propuesta, además en el presente diseño se contempla incorporar a nuevas poblaciones existentes en la ruta que lleva la red de fibra óptica.

El método utilizado para la proyección de la matriz de tráfico es el de Extrapolación de crecimiento. Es un método de procedimiento general que puede utilizarse debido al comportamiento del tráfico en los últimos años, la presencia de Internet en las Telecomunicaciones es un parámetro preponderante por el cual se justifica el crecimiento rápido del tráfico. Este método trabaja con el índice de crecimiento de servicio de telecomunicaciones.

Esta proyección utiliza la siguiente expresión:

$$Cf = Ci (1 + X)^n$$

Donde:

- Cf = Capacidad estimada en n años
- Ci = Capacidad Actual
- X = Índice de crecimiento anual del servicio de telecomunicaciones
- n = Tiempo de proyección en años

De acuerdo a la matriz de tráfico (TABLA IV-10) y al índice de crecimiento, se realiza la proyección de tráfico para 10 años.

Así la capacidad actual de la red de FASTNET CÍA. LTDA. del nodo del HOSPITAL SAN JUAN es de 6.0 Mbps. Por lo tanto utilizando la expresión dada anteriormente la capacidad estimada en 10 años es:

$$C_f = 59,56 \text{ Mbps}$$

En las TABLAS IV-10, IV-11, IV-12 se presentan las matrices de: matriz de tráfico inicial, matriz de tráfico proyectada a 5 años y matriz de tráfico proyectada a 10 años respectivamente mediante el método antes mencionado.

TABLA IV-10: Matriz actual de tráfico de empresa FASTNET CÍA. LTDA.

	HOSPITAL SAN JUAN	ESPOCH	PARQUE SUCRE	DOLOROSA	COLEGIO MALDONADO	TOTAL
HOSPITAL SAN JUAN	6.0	3.1	2.3	1.0	0.524	12.924
ESPOCH	3.1	1.28	0.256	0.064	0.064	4.764
PARQUE SUCRE	2.3	0.256	1.024	0.512	0.128	4.22
DOLOROSA	1.0	0.064	0.512	0.768	0.064	2.408
COLEGIO MALDONADO	0.524	0.064	0.128	0.064	0.640	1.42
TOTAL	12.924	4.764	4.22	2.408	1.42	25.736

TABLA IV-11: Matriz de tráfico de empresa FASTNET CÍA. LTDA. (AÑO 2014)

	HOSPITAL SAN JUAN	ESPOCH	PARQUE SUCRE	DOLOROSA	COLEGIO MALDONADO	TOTAL
HOSPITAL SAN JUAN	18,90	9,77	7,25	3,15	1,65	40,72
ESPOCH	9,77	4,03	0,81	0,20	0,20	15,01
PARQUE SUCRE	7,25	0,81	3,23	1,61	0,40	13,30
DOLOROSA	3,15	0,20	1,61	2,42	0,20	7,58
COLEGIO MALDONADO	1,65	0,20	0,40	0,20	2,02	4,47
TOTAL	40,72	15,01	13,30	7,58	4,47	81,08

TABLA IV-12: Matriz de tráfico de empresa FASTNET CÍA. LTDA. (AÑO 2019)

	HOSPITAL SAN JUAN	ESPOCH	PARQUE SUCRE	DOLOROSA	COLEGIO MALDONADO	TOTAL
HOSPITAL SAN JUAN	59,56	30,77	22,83	9,93	5,20	128,29
ESPOCH	30,77	12,75	2,54	0,64	0,64	47,34
PARQUE SUCRE	22,83	2,54	10,16	5,08	1,27	41,88
DOLOROSA	9,93	0,64	5,08	7,62	0,64	23,91
COLEGIO MALDONADO	5,20	0,64	1,27	0,64	6,35	14,10
TOTAL	128,29	47,34	41,88	23,91	14,10	255,52

Una vez realizada la proyección de la matriz de tráfico para los 10 años, donde se analiza el tráfico actual a más del sistema de fibra óptica propuesto el cual proyectando se obtiene una suma de 255,52 Mbps (ver TABLA IV-12). Por lo tanto los

equipos que se utilizarán en cada uno de los nodos del enlace deberán soportar una capacidad igual o mayor al tráfico total pronosticado.

4.1.7 DETERMINACIÓN DE EQUIPOS

El fabricante Cisco Systems plantea un modelo jerárquico de tres capas para simplificar el diseño, implementación y administración de las redes de gran escala, donde interactúa la familia de protocolos TCP/IP, así para determinar los equipos hay que conocer qué función realizan cada una de estas capas y como esta propuesto el modelo jerárquico en relación a la conformación de este tipo de sistemas.

Al contrario que en el modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos) modelo jerárquico de siete capas para la comunicación entre computadores, no hay un modelo oficial de referencia TCP/IP. No obstante, basándose en los protocolos estándar que se han desarrollado todas las tareas involucradas en la comunicación se pueden organizar en cinco capas relativamente independientes:

Capa Física: Define las características del medio de transmisión, velocidad de transmisión y el esquema de codificación de las señales.

Capa de Acceso a la Red: Relacionada con el acceso y el encaminamiento de los datos a través de la red.

Capa de Internet: El propósito de la capa Internet es seleccionar la mejor ruta para enviar los paquetes por la red. En protocolo principal que funciona en esta capa es el Protocolo de Internet (IP). La determinación de la mejor ruta y la conmutación de los paquetes ocurren en esta capa. Existen otros protocolos que interactúan en esta capa

con el IP y son importante, así tenemos ICMP (Protocolo de mensajes de control en Internet) suministra capacidades de control y envió de mensajes, ARP (Protocolo de resolución de direcciones) determina la dirección de la capa de enlace de datos (dirección MAC) para las direcciones IP conocidas, RARP (Protocolo de resolución inversa de direcciones) determina las direcciones IP cuando se conoce la dirección MAC.

Capa Transporte: La capa de transporte proporciona servicios de transporte desde el host origen hacia el host destino. Esta capa forma una conexión lógica entre los puntos finales de la red, el host transmisor y el host receptor. Intervienen dos tipos de protocolos: TCP (Protocolo de Control de Transmisión) Protocolo orientado a conexión que permite que los datos de una máquina sean entregados sin error a otra, UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario) Protocolo no orientado a conexión, es un protocolo no confiable utilizado en aplicaciones en las cuales es vital la entrega rápida de los datos y no su entrega sin errores como por ejemplo transmisión de voz y video.

Capa de Aplicación: La capa aplicación contiene toda la lógica necesaria para posibilitar las distintas aplicaciones de usuario. Provee la interfaz que una persona usa para interactuar con la aplicación, la misma que puede ser: línea de comandos e interfaz gráfica. En esta capa se incluyen protocolos destinados a proporcionar servicios, tales como correo electrónico (SMTP), transferencia de archivos (FTP), conexión remota (TELNET), protocolo para la transferencia de hipertexto (HTTP), protocolo sencillo de gestión de red (SNMP), sistema de archivos de red (NFS).

El diseño de redes IP se basa en el modelo TCP/IP mencionado anteriormente, por cuanto, en lo que se refiere a capa física, se seleccionó anteriormente que el medio de transmisión es fibra óptica monomodo, por lo que el transmisor debería ser del tipo láser, y el receptor del tipo fotodiodo de avalancha (APD: Avalanche photo diode), ya

que posee alta sensibilidad; los dos, para pasar señales digitales. Comúnmente los equipos de conmutación ya poseen interfaces denominadas convertidores o “tranceivers”, que realizan la función de transmisor/receptor y a su vez convierten las señales ópticas a eléctricas y viceversa.

Actualmente existen switches que operan en la Capa 2 como en la Capa 3 llamados switches multicapa los cuales integran interfaces Ethernet, FastEthernet, 1Gigabit Ethernet para UTP y fibra óptica, y 10Gigabit Ethernet para fibra óptica, los mismos que logran conmutación a gran velocidad. Los switches pueden conectarse entre sí, mediante interfaces de uplink para 1Gigabit o 10 Gigabit Ethernet, con fibra óptica monomodo. Y se debe elegir alguna estructura de interconexión para seleccionar estos equipos.

Para este sistema la estructura elegida es el modelo jerárquico de tres capas de Cisco Systems el cual se divide en tres capas: Core, distribución y acceso.

Capa de Core (Núcleo)

La capa Core es un backbone de conmutación de alta velocidad. Si no tienen un módulo de router asociado, se utiliza un router externo para la función de la Capa 3. Esta capa del diseño de red no debería realizar ninguna manipulación de paquete. La manipulación de paquetes, como por ejemplo el filtrado de la lista de acceso, desaceleraría la conmutación de paquetes. Una infraestructura central con rutas alternadas redundantes ofrece estabilidad a la red en caso de que se produzca una única falla del dispositivo. El núcleo se puede diseñar para utilizar la conmutación de Capa 2 o de Capa 3 y soporte el backplane de alta velocidad.

Los switches en la capa núcleo pueden hacer uso de una serie de tecnologías de Capa 2 como por ejemplo ethernet, ATM, MPLS. Los switches de capa núcleo están diseñados para ofrecer una funcionalidad de Capa 3 eficiente cuando sea necesario. Se deben tener en cuenta factores como por ejemplo la necesidad, el costo y el rendimiento antes de realizar una elección.

Los siguientes switches de Cisco son adecuados para la capa núcleo: Serie Catalyst 4500, Serie Catalyst 6500, Serie IGX 8400, Lightstream 1010.

Capa de Distribución

La capa de distribución de la red se encuentra entre las capas de acceso y core. Ayuda a definir y separar el núcleo. El propósito de esta capa es realizar la manipulación de paquetes, como por ejemplo control de errores y filtrado de paquetes. Esta capa segmenta las redes en dominios de broadcast. La capa de distribución aísla los problemas de red para los grupos de trabajo en los cuales se producen. La capa de distribución también evita que estos problemas afecten la capa núcleo.

Los switches en esta capa operan en la Capa 2 y Capa 3 y tienen capacidad para soportar el backplane del switch de core y además son los puntos de concentración de múltiples switches de acceso. El switch de distribución debe soportar el tráfico de los switches de acceso conectados a él. El switch de la capa de distribución debe tener un alto rendimiento, dado que es un punto en el cual se encuentra delimitado el dominio de broadcast. Por estas razones, los switches que residen en la capa de distribución operan tanto en la Capa 2 como en la Capa 3. Los switches en esta capa se conocen como switches multicapa. Estos switches multicapa combinan las funciones de un router y de un switch en un dispositivo.

Los siguientes switches de Cisco son adecuados para la capa de distribución: Serie Catalyst 3500, Serie Catalyst 5000, Serie Catalyst 6000.

Capa de Acceso.

La capa de acceso es el punto de entrada para las estaciones de trabajo y los servidores de usuario a la red. En un campus LAN el dispositivo utilizado en la capa de acceso puede ser un switch o un hub. Si se utiliza un hub, se comparte el ancho de banda. Si se utiliza un switch, entonces el ancho de banda es dedicado.

Los switches de la capa de acceso operan en la Capa 2 y ofrecen servicios como el de asociación de VLAN. El principal propósito de un switch de capa de acceso es permitir a los usuarios finales el acceso a la red. Un switch de capa de acceso debe proporcionar esta funcionalidad con bajo costo y una alta densidad de puerto.

Los siguientes switches Cisco se utilizan comúnmente en la capa de acceso: Serie Catalyst 1900, Serie Catalyst 2820, Serie Catalyst 2960, Serie Catalyst 4000, Serie Catalyst 5000.

Debido a la facilidad de diseño, implementación y administración del modelo antes mencionado, se ha decidido que en este proyecto se utilizará este modelo con los switches adecuados para cada capa.

4.1.8 EQUIPAMIENTO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

Para tener una mejor perspectiva de la red de fibra óptica diseñada se procede a seleccionar los equipos que se utilizarán en cada nodo, se debe tener presente que el nodo Hospital San Juan ya se encuentran totalmente implementado con sus respectivos equipos para soportar el sistema redundante de fibra óptica y con las respectivas precauciones para un futuro crecimiento y escalabilidad de la empresa, por esta razón para dicho nodo no se determinará los equipos.

El resto de nodos del sistema redundante de fibra óptica diseñado, es decir, ESPOCH, Parque Sucre, La Dolorosa, Colegio Maldonado poseen los mismos equipos, por lo cual se procede a seleccionar los equipos para un solo nodo.

En la TABLA IV-13 se indican los respectivos equipos presentes en cada nodo, la determinación e interconexión de los mismos se realiza en un apartado posterior.

TABLA IV-13: Equipos presentes en cada uno de los nodos.

EQUIPO	CANTIDAD
ODF (Optical Distribution Fiber)	2
Switch (Core y Distribución)	1
Interfaz Óptico de 1Gbps	2
Patchcore	2

Según la capacidad proyectada para los 10 años, el sistema debe soportar 255,52 Mbps, valor que se toma como referencia para seleccionar los equipos, así los switches elegidos deben cumplir como mínimo con esta característica de capacidad de

conmutación; por lo que el switch debe tener interfaces para fibra óptica que manejen este valor como mínimo.

Otro punto importante es la cantidad de puertos y tipos de interfaces que deben tener los equipos de conmutación. Hay que considerar una capacidad de crecimiento a futuro y a la vez integrar la sección de backbone con la sección de distribución en un solo equipo, por lo que es recomendable una cantidad de al menos 24 puertos fastEthernet 10/100 [Mbps] y 2 interfaces 1 Gigabit Ethernet para fibra óptica monomodo, velocidad de backplane superior a 255,52 Mbps, conmutación de capa 2, 3.

Como en este diseño se utiliza el modelo jerárquico de tres capas planteado por Cisco Systems, y por la masiva acogida de sus productos en el mercado de las telecomunicaciones, se usarán equipos de dicho fabricante.

Al no manejar un tráfico muy elevado se trata en un solo equipo integrar las capas de core y distribución, así; en base a las características mencionadas se ha determinado que para el switch de core y distribución se utilizará el switch Cisco Catalyst WS-C3560-24ts-s o cualquiera que cumpla con estas características.

En la TABLA IV-14 se indican los parámetros técnicos del switch Cisco Catalyst WS-C3560-24ts-s, como se puede apreciar cumple con las características requeridas.

TABLA IV-14: Parámetros técnicos del Switch CISCO CATALYST WS-C3560-24TS-S.

NIVEL DE CONMUTACIÓN	2, 3 Y 4.
Velocidad de conmutación de paquetes	21 Mpps
Velocidad de backplane	28 Gbps
Protocolo de gestión remota	SNMP 1, RMON 1, Telnet, SNMP 3.
Modo comunicación	Half dúplex, full dúplex
MACs soportadas	12.288
Manejo de VLANs (802.1q)	1.024
ACLs de nivel	2, 3 y 4
Enrutamiento	Estático, dinámico RIP I y II, IpRouting
Protocolo 802.1X	Si
Spanning-Tree Protocol,IEEE 802.1D	Si
IPVer 6 VoIP, Telefonía IP	Si
MTBF (tiempo medio entre errores)	326.100 horas
puertos 10/100BASE-T	24
Puertos uplink SFP (Interfaz FO)	2

Una vez escogido el equipo de conmutación hay que determinar la interfaz óptica, se necesita que la interfaz para interconexión entre nodos, sea para fibra óptica monomodo que trabaje en la ventana de 1550 [nm], permitiendo cubrir distancias de al menos 3,885 [Km]. Y cumpla con la recomendación **UIT G.959.1: Interfaces de capa física de red óptica de transporte**, se tiene las siguientes interfaces ópticas: 1.25Gbps, 2.5Gbps, 10Gbps, 40Gbps.

Las opciones que presenta el fabricante Cisco Systems y cumple con las características mencionadas, se muestran en la TABLA IV-15.

TABLA IV-15: Especificaciones para el conector SFP de Cisco.

SFP	Longitud de Onda [nm]	Tipo de Fibra	Diámetro del núcleo [μm]	Ancho de Banda [MHz/K]	Máximo alcance [m]	Potencia TX [dBm]	Potencia RX [dBm]
1000Base-SX	850	Multimodo Escalonado	62.5 62.5 50.0 50.0	160 200 400 500	220 275 500 550	Max -4 Min -9.5	Max 0 Min -17
1000Base-LX/LH	1300	Multimodo Gradual	62.5 50.0	500 400	550 550	Max -3 Min -9.5	Max -3 Min -19
		Monomodo	50.0 9-10	500 -	550 10000		
1000Base-ZX	1550	Monomodo	9-10	-	100000	Max 5 Min 0	Max -3 Min -23

La interfaz 1000Base-ZX está desarrollada para fibra monomodo G.655 de 9 – 10 [μm], la misma que alcanza distancias de hasta 100 [Km], cuyo transmisor tiene una potencia de salida mínima de 0 [dBm] y máxima de 5 [dBm] y el receptor tiene una potencia de recepción mínima de -23 [dBm] y máxima de -3 [dBm]; datos que se utilizarán posteriormente en el cálculo del enlace de comunicaciones de fibra óptica, es importante notar que esta interfaz trabaja en la ventana de 1550 [nm] apta para el tipo de fibra a usarse.

En la capa de acceso se utilizara los equipos actuales de cada nodo, llegando así a cada uno de sus clientes.

4.1.9 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN

El principal objetivo de calcular la atenuación total es el de determinar la necesidad de regeneración de la señal mediante este proceso se determina la ubicación de equipos regeneradores de ser necesario ha de instalar un equipo regenerador ó a su vez un punto de red que permita la ampliación de la misma. Con la información que es proporcionada por el fabricante del cable de fibra óptica y la información del correspondiente interfaz óptico que se va utilizar en cada uno de los equipos de transmisión se calcula el alcance máximo correspondiente para cada interfaz óptico y con dicho alcance máximo se calcula el ancho de banda correspondiente para cada interfaz.

Finalmente con la distancia real de cada enlace se calcula los valores de potencia recibida en cada punto de recepción y los respectivos anchos de banda. Estos valores se comparan con los valores mínimos permitidos de potencia de recepción y ancho de banda para la interfaz óptica.

Todos los parámetros que influyen en la atenuación total de un enlace de fibra óptica se presentan en la siguiente ecuación:

$$P_T - 2\alpha_c - \alpha D - \alpha_e N_e - M_c - M_e \geq P_R$$

- P_T = Potencia de transmisión del láser en el interfaz S en dBm.
- α_c = Atenuación debida al conector con el interfaz óptico en dB.
- α_e = Atenuación debida a empalmes en dB.
- α = Atenuación debida a la longitud de la fibra óptica dB/Km.
- N_e = Número de empalmes.
- M_c = Margen de seguridad del cable de fibra óptica en dB.

- M_e = Margen del interfaz óptico de transmisión en dB.
- P_R = Potencia de recepción mínima dBm.

La misma que expresa la distancia máxima entre dos puntos de un enlace de fibra óptica, transmisor **S** y receptor **R** separados por una distancia **D** expresada en Km.

El tipo de conectores que se utilizarán son del tipo FC que tienen una pérdida típica de señal de 0.2 dB. De igual manera, los empalmes por fusión incluyen una pérdida de 0.07 dB para fibra de dispersión desplazada no-nula.

El número de empalmes **Ne** está dado por la distancia total del trayecto D (Distancia de nodo a nodo) dividido por la longitud máxima del carrete de fibra óptica del fabricante, que para este diseño es de 4 Km, es decir **Ne=D/4**.

El Margen de seguridad del cable **Mc** se establece al considerar que durante toda la vida útil del cable de fibra óptica presentará una rotura a intervalos de un 50% del trayecto D, es decir que **Mc = D/50 [dB]**.

El Margen del equipo **Me** lo proporciona el fabricante y está dado en el orden de 0.1-0.2 dB.

De la ecuación se despeja el valor máximo de la distancia **D**, la misma que queda en función de los parámetros antes mencionados, con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$D \leq \frac{P_T - P_R - 2 \alpha_c - M_e}{\alpha + \frac{\alpha_e}{4} + \frac{1}{50}}$$

Donde al reemplazar los datos se obtiene la distancia a la que hay ubicar regeneradores.

$$D \leq \frac{0 - (-23) - 2 (0,2) - 0,1}{0,35 + \frac{0,07}{4} + \frac{1}{50}}$$

$$D \leq 58,065 \text{ Km}$$

Con el resultado anterior se justifica la no colocación de repetidores ya que la máxima longitud para el diseño no sobrepasa esta distancia, también sirve para calcular el ancho de banda mínimo para la interfaz óptica.

El ancho de banda **AB** se calcula a partir de la siguiente ecuación tomando en cuenta la distancia máxima.

$$AB = \frac{0,44}{D(W_c)(\Delta_\lambda)}$$

- D = Distancia del enlace o tramo, en Km.
- W_c =Dispersión cromática de la fibra óptica, en ps/nm.Km.
- Δ_λ =Ancho espectral del láser, en nm.

De acuerdo a la fibra óptica seleccionada $W_c = 8$, y considerando un valor típico para una fuente de luz tipo láser de $\Delta\lambda = 0,1$ (Ver ANEXO 4) con lo cual se procede a calcular el Ancho de banda:

$$AB_{\min} = \frac{0,44}{58,065(8)(0,1)}$$

$$AB_{\min} = 9,472Mbps$$

Finalmente, para determinar si cada uno de los enlaces de fibra que conforman el sistema cumple con los requisitos antes mencionados para cada interfaz, se procede a calcular el nivel de recepción de la señal y su ancho de banda para cada enlace con su respectiva distancia D' (Distancia real entre nodos más bucle de exceso Ver TABLA IV-9).

Para poder calcular la potencia recibida P_R en el receptor del interfaz se utiliza la ecuación:

$$P_R \leq P_T - 2\alpha_c - M_e - D\left(\alpha + \frac{\alpha_e}{4} + \frac{1}{50}\right)$$

Y para el Ancho de banda se utiliza la ecuación de **AB** anteriormente mencionada. En ambas ecuaciones se reemplaza la distancia D' .

A manera de ejemplo calculamos para el nodo Hospital San Juan – ESPOCH:

$$P_R \leq 0 - 2(0,2) - 0,1 - 3,654\left(0,35 + \frac{0,07}{4} + \frac{1}{50}\right)$$

$$P_R \leq -1.92dBm$$

$$AB = \frac{0,44}{3,654 (8)(0,1)}$$

$$AB = 0,15GHz$$

En la TABLA IV-16 se resumen los resultados para el resto de enlaces que componen el sistema de Fibra Óptica.

TABLA IV-16: Potencia recibida y Ancho de banda de los enlaces.

NOMBRE DEL ENLACE	DISTANCIA D' (km)	POTENCIA P_R (dBm)	ANCHO DE BANDA (GHz)
Hospital San Juan - ESPOCH	3,654	-1,92	0,15
Hospital San Juan – Parque Sucre	1,89	-1,23	0,29
Parque Sucre – La Dolorosa	1,26	-0,99	0,44
La Dolorosa – Colegio Maldonado	3,885	-2,0	0,14
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	2.814	-1,59	0,20

Como se puede observar en la TABLA VI-16, los resultados indican que existe un muy buen nivel de recepción ya que los valores de recepción en cada uno de los trayectos superan el valor mínimo establecido por el interfaz óptico.

4.1.10 INTERCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS EN LOS NODOS

Como se puede apreciar en la Figura VI-35 el backbone de Fibra Óptica está interconectado mediante las interfaces ópticas tanto el Router FASTNET como de los switches. Se observa claramente que la interconexión de los correspondientes switches de core - distribución de cada nodo intermedio se la realiza a través de fibra óptica, además se puede apreciar que el router del nodo San Juan se conecta directamente a la red WAN una salida directa al INTERNET.

Los enlaces de microonda pasarán a ser el respaldo de la red de fibra óptica, es por esto que en los switches en mención se debe configurar un óptimo protocolo de enrutamiento. De acuerdo a los protocolos de enrutamiento existentes y por su facilidad de configuración en los switches, se sugiere a que el protocolo de enrutamiento a ser configurado en los switches de distribución es OSPF (Protocolo Primero el camino más corto), puesto que este protocolo de enrutamiento tiene como métrica el ancho de banda. Con este protocolo configurado correctamente en los switches de distribución se puede obtener una red totalmente confiable y funcional.

Cabe resaltar que se forma un anillo de fibra óptica entre los nodos Parque Sucre, La Dolorosa, Colegio Maldonado con el nodo principal Hospital San Juan. En esta configuración se logra una redundancia entre los nodos anteriormente mencionados logrando tener dos caminos hacia estos desde el nodo Hospital San Juan la política de comunicación la decidirá la empresa ya que esta posee equipos adecuados para este objetivo. La interconexión al nodo ESPOCH se hace una redundancia interna con dos hilos de la misma fibra a más de los enlaces de microondas que son respaldo para todos los nodos.

DIAGRAMA DE INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS BACKBONE
DE FIBRA ÓPTICA FASTNET CIA. LTDA.
RIOBAMBA

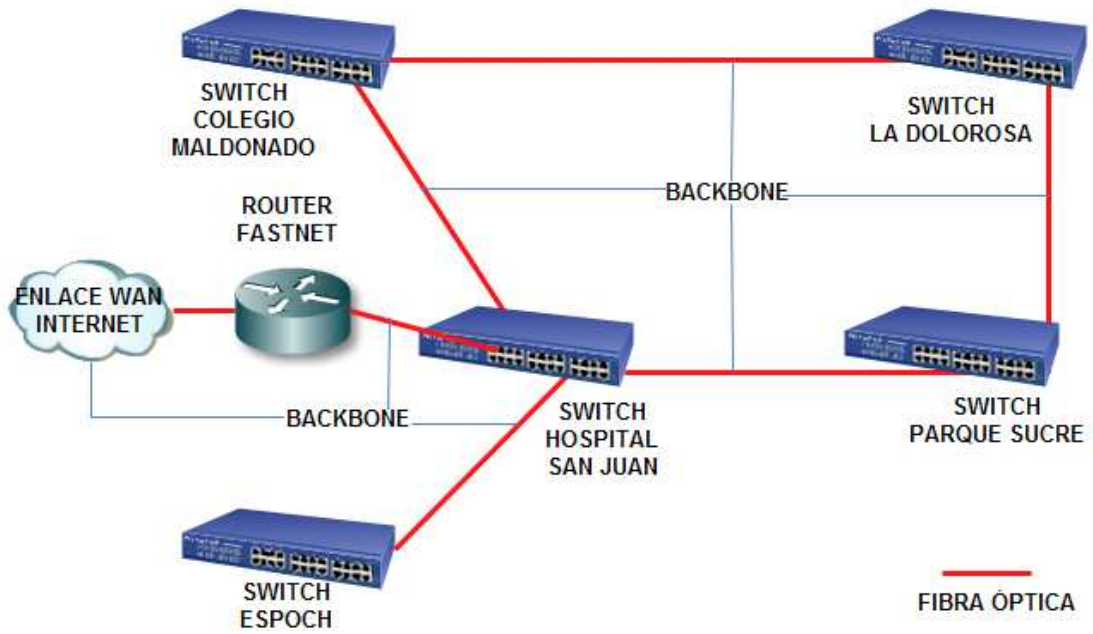


Figura IV- 35: Diagrama de Interconexión de los equipos del Backbone de Fibra Óptica.

CAPITULO V

5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

5.1.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el análisis de costos de la inversión realizada en cada uno de los enlaces diseñados, así como también los costos de los equipos que se utilizarán en los nodos del enlace de fibra óptica para la red de FASTNET CÍA. LTDA. en la ciudad de Riobamba, luego se detalla la justificación pertinente de dicha inversión y se realiza el estudio de rentabilidad que el proyecto presenta, también el tiempo total de recuperación de la inversión y si cubre o no las expectativas del mercado.

5.1.2 COSTO DE LOS ENLACES ENTRE NODOS

En la TABLA V-17 se presenta la descripción y los costos de los diferentes materiales requeridos para realizar el tendido de la fibra óptica (Fuente: Proveedores FASTNET CÍA. LTDA.).

TABLA V-17: Materiales para realizar el tendido de Fibra Óptica.

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
Instalación aérea de fibra óptica de 12 hilos por metro incluido transporte	1,00
Empalme cada 4Km de los 12 hilos de fibra óptica	293,57
Fibra óptica (G.655) 12 hilos ADSS por metro	5,00
Herrajes para sujeción de fibra óptica	7,00
Alquiler de poste anual	6,00

En el TABLA V-18 se describe la longitud de fibra óptica a utilizarse en cada enlace, así como la cantidad de empalmes. Para determinar la cantidad de empalmes se toma en cuenta que el carrete de fibra óptica tiene una longitud de 4Km, de esta forma se divide el valor de la longitud de fibra óptica en Km para 4 y se obtiene el número de empalmes para cada uno de los enlaces, se toma en cuenta que el resultado de dicha división se la aproxima al mínimo inferior, para así obtener la cantidad real de empalmes.

TABLA V-18: Distancia entre nodos y cantidad de cajas para empalmes a utilizar.

NOMBRE DEL ENLACE	LONGITUD DE LA FIBRA ÓPTICA ENTRE NODOS (Km)	CANTIDAD DE EMPALMES
Hospital San Juan - ESPOCH	3,48	2
Hospital San Juan – Parque Sucre	1,8	2
Parque Sucre – La Dolorosa	1,2	2
La Dolorosa – Colegio Maldonado	3,7	2
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	2,68	2
TOTAL	12,86	10

A continuación se expone en la TABLA V-19 la cantidad de postes por alquilar a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., la distancia entre poste y poste es de 50m en la ciudad medida que se toma como referencia. El número de postes totales se ha calculado con las distancias reales entre nodo y nodo dividido para los 50 metros. También se determina la cantidad de herrajes a utilizar en cada enlace estos sirven para sujetar la fibra óptica a los postes.

TABLA V-19: Cantidad de postes y herrajes a utilizar en el diseño.

NOMBRE DEL ENLACE	DISTANCIA ENTRE NODOS (Km)	CANTIDAD POSTES	CANTIDAD DE HERRAJES
Hospital San Juan - ESPOCH	3,48	70	70
Hospital San Juan – Parque Sucre	1,8	36	36
Parque Sucre – La Dolorosa	1,2	24	24
La Dolorosa – Colegio Maldonado	3,7	74	74
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	2,68	54	54

Con el análisis realizado en el apartado 4.1.3 se debe calcular el bucle de exceso necesario para el diseño del sistema, la distancia de bucle de exceso y longitud total de fibra óptica que se debe utilizar se presentan en la TABLA V-20.

TABLA V-20: Cálculo de longitud de bucle de exceso y distancia y total de fibra óptica.

NOMBRE DEL ENLACE	DISTANCIA ENTRE NODOS (Km)	BUCLE EN EXCESO (Km)	LONGITUD TOTAL DE FIBRA ÓPTICA ENTRE NODOS (Km)
Hospital San Juan – ESPOCH	3,48	0.174	3,654
Hospital San Juan – Parque Sucre	1,8	0.09	1,89
Parque Sucre – La Dolorosa	1,2	0.06	1,26
La Dolorosa – Colegio Maldonado	3,7	0,185	3,885
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	2,68	0,134	2.814
TOTAL FIBRA ÓPTICA			13,503

Con lo expuesto anteriormente se obtiene los costos de cada uno de los enlaces como el costo total del diseño propuesto se observa en la TABLA V-21.

TABLA V-21: Costos de inversión en cada uno de los enlaces que constituyen el sistema de Fibra Óptica.

NOMBRE DEL ENLACE	FIBRA ÓPTICA (\$)	INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA (\$)	EMPALMES (\$)	ALQUILER DE POSTES (\$)	HERRAJES (\$)	COSTOS FINALES (\$)
Hospital San Juan - ESPOCH	18270	3654	587,14	420	490	23421,14
Hospital San Juan – Parque Sucre	9450	1890	587,14	216	252	12395,14
Parque Sucre – La Dolorosa	6300	1260	587,14	144	168	8459,14
La Dolorosa – Colegio Maldonado	19425	3885	587,14	444	518	24859,14
Hospital San Juan - Colegio Maldonado	14070	2814	587,14	324	378	18173,14
COSTO TOTAL						87307,7

5.1.3 COSTO DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN LOS NODOS

En la TABLA V-22 se presenta los costos referenciales (Fuente: Proveedores FASTNET CÍA. LTDA.) de los equipos para cada nodo del enlace de fibra óptica, cabe resaltar que en el capítulo anterior se determinaron características de cada uno de ellos.

TABLA V-22: Costos de equipos a ubicarse en los nodos.

EQUIPO	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
Switch	3000	4	12000
ODF	476	10	4760
Patch Core	26	10	260
Interfaz óptico a 1Gbps	400	8	3200
SUBTOTAL			18220
Costo de instalación de equipos			1000
Costo de configuración y pruebas			500
TOTAL			21720

5.1.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento son muy importantes, ya que serán los que se pagarán mensualmente durante todo el tiempo de vida del proyecto, el cual será realizado por el personal de FASTNET CÍA. LTDA.

Es importante destinar un porcentaje adecuado en este caso se ha presupuestado destinar el 10% del costo total de equipamiento como del costo total del tendido de fibra óptica, dicho costo será invertido anualmente en repuestos y mantenimiento como se puede observar en la TABLA V-23. Se debe tener presente que dentro de los costos de operación y mantenimiento se ha tomado en cuenta también los costos por arrendamiento de los nodos.

TABLA V-23: Costos Anuales de Operación y Mantenimiento.

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (\$)	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO Y REPUESTOS (\$)
Tendido de fibra óptica	87307,7	8730,77
Equipamiento de nodos	21720	2172
TOTAL		10902,77

5.1.5 COSTOS DE INGENIERÍA

Son los costos más importantes a tomar en cuenta, puesto que estos corresponden a los honorarios que la empresa tendrá que cancelar a las personas encargadas tanto del diseño del sistema de fibra óptica, así como también de los respectivos estudios de campo realizados.

En la TABLA V-24 se presenta los costos de ingeniería los cuales se toman en base a los siguientes aspectos:

- Costo del diseño que incluye: estudio de la situación actual de la empresa, proyección del tráfico de la red, estudio de demanda de los servicios de la empresa, selección y determinación de los equipos.
- Costo del estudio de campo se evalúa de acuerdo a factibilidad de acceso a la localidad donde se ubicarán los nodos, determinación de la ubicación de los nodos con sus respectivas coordenadas geográficas y estudio de la ruta para el tendido de la fibra óptica.

TABLA V-24: Costos de Ingeniería.

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (\$)
Estudio de campo	500
Diseño del sistema	1000
TOTAL	1500

5.1.6 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total del sistema diseñado se lo presenta finalmente en la TABLA V-25, en la cual se describe el costo total de los enlaces entre nodos, de los equipos a utilizar en los nodos y de Ingeniería.

TABLA V-25: Costo Total del Proyecto.

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (\$)
Costo de enlaces entre nodos	87307,7
Costo total de los equipos a utilizar en los nodos	21720
Costo de Ingeniería	1500
TOTAL	110527,7

5.1.7 JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

En toda empresa, es necesario realizar la evaluación del Proyecto para así determinar su viabilidad, considerando varios aspectos que permitan determinar en qué medida el Proyecto será rentable.

La evaluación de este tipo de Proyectos, se basa normalmente en el estudio de los ingresos y gastos relacionados con el Proyecto, teniendo en cuenta cuando son efectivamente recibidos y entregados, es decir, en los flujos de caja que se obtienen en dicho Proyecto con el fin de determinar si son suficientes para soportar el servicio de la deuda anual y de retribuir adecuadamente el capital aportado por la empresa.

En el estudio de la viabilidad económica se pretende definir mediante la comparación de los beneficios y costos estimados del Proyecto, si es recomendable su implementación y posterior operación.

5.1.7.1 VIABILIDAD DEL PROYECTO

Para evaluar la viabilidad de un Proyecto, los indicadores de rentabilidad más utilizados por los expertos son: Flujo de caja, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), y el período de recuperación de la inversión. Estos indicadores permiten dar una medida de la rentabilidad que se puede obtener con el presente Proyecto.

5.1.7.1.1 FLUJO DE CAJA

La proyección del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes en la evaluación del Proyecto, de la precisión con que se construya este flujo dependerá la confiabilidad de las conclusiones obtenidas en el análisis de rentabilidad.

Para efectos de este estudio, se concentrará la atención en los flujos de caja para medir la rentabilidad del Proyecto, considerando los siguientes aspectos:

- FASTNET CÍA. LTDA. aportará con el 30% del costo total de la implementación del presente proyecto y el 70% restante se financiará a través de un préstamo al banco con una tasa de interés anual del 14%.
- La empresa ha determinado que puede utilizar el 35% de los ingresos totales del año 2009 que son de \$123325,56 para solventar la deuda del proyecto ya que se mejora el servicio de los clientes lo cual puede acarrear nuevos usuarios y aumentar sus ingresos. La proyección de dichos ingresos se realiza para un periodo de 10 años a una tasa de crecimiento del 25,80%, que es la tasa calculada en el estudio de demanda realizado en el capítulo 4.
- Se considera un tiempo de depreciación de los equipos de 10 años, dicha depreciación se la considera lineal.

En la TABLAS V-26 y V-27 se presenta el flujo de caja realizado para el presente proyecto.

Signo	Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
+	Ingreso de nodos	0,00	43163,95	54300,25	68309,71	85933,62	108104,49
-	Costo de operación y mantenimiento	0,00	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Depreciación	0,00	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Pago de interés por los créditos recibidos	0,00	18831,71	10271,57	9633,00	8905,04	8075,15
=	Utilidad antes de participación e impuestos	0,00	2526,70	22223,14	36871,17	55223,04	78223,80
-	Participación a trabajadores (15% Utilidad)	0,00	379,01	3333,47	5530,68	8283,46	11733,57
=	Utilidad antes de impuestos	0,00	2147,69	18889,67	31340,49	46939,58	66490,23
-	Impuesto a la renta (25%)	0,00	536,92	4722,42	7835,12	11734,90	16622,56
=	Utilidad neta	0,00	1610,77	14167,25	23505,37	35204,68	49867,68
+	Depreciación	0,00	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Costo de inversión	77369,39					
-	Capital de trabajo	33158,31					
+	Recuperación de capital de trabajo						
-	Pago de capital (amortización)		4001,05	4561,19	5199,76	5927,72	6757,61
	FLUJO DE FONDOS NETO	-110527,70	8512,49	20508,83	29208,38	40179,73	54012,83

TABLA V-26: Flujo de caja correspondiente al año 5.

Signo	Descripción	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
+	Ingreso de nodos	135995,45	171082,28	215221,51	270748,66	340601,81
-	Costo de operación y mantenimiento	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Depreciación	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Pago de interés por los créditos recibidos	7129,09	6050,58	4821,07	3419,43	1821,57
=	Utilidad antes de participación e impuestos	107060,82	143226,16	188594,90	245523,69	316974,70
-	Participación a trabajadores (15% Utilidad)	16059,12	21483,92	28289,23	36828,55	47546,21
=	Utilidad antes de impuestos	91001,70	121742,24	160305,67	208695,14	269428,49
-	Impuesto a la renta (25%)	22750,42	30435,56	40076,42	52173,78	67357,12
=	Utilidad neta	68251,28	91306,68	120229,25	156521,36	202071,37
+	Depreciación	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77	10902,77
-	Costo de inversión					
-	Capital de trabajo					
+	Recuperación de capital de trabajo					33158,31
-	Pago de capital (amortización)	7703,67	8782,18	10011,69	11413,33	11189,63
	FLUJO DE FONDOS NETO	71450,38	93427,27	121120,33	166913,57	201784,51

TABLA V-27: Flujo de caja correspondiente al año 10.

5.1.7.1.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN), es el valor de la inversión en el año cero, descontados todos sus ingresos y egresos a una determinada tasa, que refleja las expectativas de retorno depositadas en el Proyecto. Indica un monto en dólares que representa la ganancia que se podría tomar por adelantado al comenzar un Proyecto, considerando la tasa de corte establecida.

Uno de los puntos conflictivos en torno al VAN, es la determinación de la tasa seleccionada. En el presente Proyecto, se toma la tasa de rentabilidad establecida por FASTNET CÍA. LTDA. que es del 22% El cálculo del VAN se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1+i)^t} \right] + I_0$$

Donde:

- FC_t = Flujo de Caja al año t.
- i = Tasa de rentabilidad de la empresa.
- t = Tiempo de Vida del Proyecto igual a 10 años.
- I_0 = Inversión Inicial.

$$VAN = \sum_{t=1}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1+0,22)^t} \right] - 110527,70$$

$$VAN = \$89511,47$$

El VAN positivo obtenido, manifiesta que el Proyecto está generando más efectivo del que necesita para reembolsar el capital invertido por FASTNET CÍA. LTDA. y que se encuentra en condiciones de obtener una rentabilidad del 22% , generando así, excedentes por un monto de \$89511,47 con lo que la empresa se vería beneficiada.

5.1.7.1.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa de interés efectiva que da la inversión en el negocio en evaluación. Es la máxima tasa que es posible pagar por el financiamiento de un Proyecto, ya que devolviendo un préstamo con esa tasa, con los ingresos generados, el Proyecto no daría ganancia ni pérdida.

Para calcular la TIR, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$0 = \sum_{t=1}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right] + I_0$$

Donde:

- FC_t = Flujo de Caja al año t.
- t = Tiempo de Vida del Proyecto igual a 10 años.
- I_0 = Inversión Inicial.

$$0 = \sum_{t=1}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right] - 110527,70$$

$$TIR = 34,67\%$$

El valor de la tasa interna de retorno obtenida, es mucho mayor respecto a la tasa de rentabilidad esperada por FASTNET CÍA. LTDA., lo que refleja que el presente Proyecto es muy viable y rentable para la empresa.

5.1.7.1.4 PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

El período de recuperación de la inversión, es uno de los métodos que en el corto plazo puede tener el favoritismo de algunas personas a la hora de evaluar sus inversiones.

Por su facilidad de cálculo y aplicación, el período de recuperación de la inversión es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del Proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo. Consiste en medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo.

El período de recuperación de la inversión, podría encontrarse de la siguiente manera:

$$PRI = \text{Año anterior recuperación total} + \frac{\text{Costo no recuperado principio de año}}{\text{Flujo de caja durante el año}}$$

- Año anterior a la recuperación total:

Se suman los Flujos de Caja a partir del año 0, hasta que el valor obtenido sea positivo:

$$-110527,70 + 8512,49 + 20508,83 + 29208,38 + 40179,73 + 54012,83 = \$41894,56$$

Como el valor obtenido se hace positivo al 5to año, se tiene que el año anterior a la recuperación total va a ser el 4to año.

- Costo no recuperado al principio del año:

Como el año anterior a la recuperación total es el 4to año, se va a tener un costo acumulado no recuperado a partir del año 0, tal como se muestra a continuación:

$$-110527,70 + 8512,49 + 20508,83 + 29208,38 + 40179,73 = -12118,27$$

- Flujo de Caja durante el año:

Como se observar en la TABLA V-10, el Flujo de Caja anual al 5to año es de: \$54012,83.

Entonces, haciendo los cálculos respectivos, se tiene que el período de recuperación de la inversión, es:

$$PRI = 4 + \frac{12118,27}{54012,83} = 4.22$$

Una vez realizado el flujo de caja se obtiene indicadores de rentabilidad óptimos para el proyecto, puesto que la recuperación de la inversión necesaria para la implementación del Proyecto son idóneas, ya que dicha inversión sería recuperada en un tiempo aproximado de 4 años, 2 mes y 20 días, debido a que los Flujos de Caja

acumulados hasta éste sobrepasarían los costos generados por la implementación del presente Proyecto.

Como se observa en los resultados obtenidos, el proyecto presenta una alta rentabilidad con lo que se concluye que el retorno de la inversión es óptimo, es decir que cubre cualquier expectativa de inversión en el mercado.

CONCLUSIONES

- La fibra óptica utilizada como medio de transmisión en el transporte de información, presenta una gran cantidad de ventajas tales como: gran ancho de banda, baja atenuación, inmunidad electromagnética y seguridad, en comparación con los medios de transmisión guiados y no guiados tradicionales.
- Las redes principales de la empresa FASTNET CÍA. LTDA. en Riobamba presentan en su gran mayoría enlaces de microonda, por lo que debido a las condiciones atmosféricas pueden presentarse problemas de propagación en dichos enlaces, los mismos que provocan atenuaciones en la señal, incrementándose así la tasa de error (BER), a más que la red actual tiene una vida útil de solo 3,6 años por lo tanto al usar un enlace de fibra óptica se obtiene una alternativa de transporte de datos con mayor independencia a las inclemencias del clima y como resultado se puede obtener tasas de error más bajas aun en las peores condiciones , proyectando la vida útil de la red sobre los 10años.
- La competitividad que en servicios de Telecomunicaciones actualmente se da a nivel mundial, trae consigo la necesidad de disponer de una red escalable, adaptable, confiable, redundante y de gran capacidad como la del presente proyecto, con la cual se podrá brindar servicios de telecomunicaciones de mejor calidad.
- La empresa FASTNET CÍA. LTDA. al utilizar la fibra óptica que cumpla con la recomendación UIT-T G.655, puede migrar con el transcurso del tiempo a la tecnología DWDM simplemente con el cambio de equipos, sin tener la necesidad de cambiar la fibra óptica, con lo cual aumentará la capacidad del sistema.

- De acuerdo al análisis económico de la inversión realizada en el proyecto, se obtiene una Tasa Interna de Retorno del 34,67%, siendo este valor mayor al esperado (22%) para un período de 10 años, dando un valor actual neto mayor que cero, \$89511,47. Por lo tanto se hace evidente que las ganancias superan a las mínimas esperadas y lo que es más atractivo para la empresa es que se puede recuperar la inversión realizada para el proyecto en un tiempo aproximado de 4 años, 2 meses y 20 días.

RECOMENDACIONES

- Recomendamos a la empresa FASTNET CÍA. LTDA. la implementación de este proyecto, por la gran capacidad de transmisión que brinda la fibra óptica; logrando así una explotación de nuevos servicios de telecomunicaciones, como por ejemplo: videoconferencia, televisión sobre IP, aplicaciones multimedia, etc. los mismos que requieren un gran ancho de banda.
- Los equipos a usarse en la red, deberán cumplir como mínimo cada una de las especificaciones básicas detalladas en el presente proyecto para un correcto funcionamiento del sistema.
- Se recomienda que la empresa tome las políticas de seguridad para los datos de acuerdo los criterios de CISCO Systems y de acuerdo al modelo de tres capas utilizado.
- El tendido del cable de fibra óptica y la instalación de los equipos descritos en el desarrollo del proyecto, lo debe realizar personal calificado, a fin de cumplir con todas las especificaciones y normas técnicas dadas por el fabricante y la empresa.
- Damos a la empresa FASTNET CIA. LTDA. la oportunidad de elegir los equipos y tecnología más adecuadas en el mercado para la re potenciación de su red.

RESUMEN

Se analizó y diseño un sistema de fibra óptica para FASTNET CÍA. LTDA. en Riobamba, buscando mejorar la capacidad de transmisión y lograr así explotar nuevos servicios de telecomunicaciones como: videoconferencia, televisión IP, etc.

Se ha enlazado los nodos principales de FASTNET con fibra óptica monomodo especificación G.655 tendida aéreamente e interconectada con equipos adecuados para este sistema; se aplico el método inductivo identificando las recomendaciones de fibra óptica, usando el modelo de tres capas de CISCO Systems y evaluando el proyecto con técnicas económicas.

El sistema de fibra óptica diseñado es capaz de soportar un ancho de banda de 1,25GHz sobrepasando la capacidad proyectada de la red en diez años, mejorando los servicios actuales y albergando a nuevos; el proyecto es factible llegando a recuperar su inversión a los cuatro años y dos meses superando los valores de los indicadores económicos utilizados con importantes ingresos para la empresa en su vida útil.

Por tal motivo se sugiere a la empresa FASTNET CÍA. LTDA. implemente el proyecto en la ciudad de Riobamba para mejorar su infraestructura y explotar nuevos servicios.

SUMMARY

An optical fiber system was designed and analyzed for FASTNET CIA. LTDA. in Riobamba, trying to improved the transmission capacity thus exploiting new telecommunications services such as videoconference, television IP, etc.

The main nodes of FASTNET have been linked to optical fiber monomodo, specification G.655 spread aerially and interconnected with equipment suitable for this system. The inductive method was applied identifying the recommendations of optical fiber, using the three-layer model of the CISCO Systems and evaluating the project with economic techniques.

The designed optical fiber system is capable of supporting a band width of 1,25GHz surpassing the projected capacity of the network in ten years, improving the actual services and settings new ones. The project is feasible, recovering its investment in four years and two months, surpassing the economic indicator values used with important income for the enterprise service life.

This is why the enterprise FASTNET CIA. LTDA. is suggested to implement the project in Riobamba city to improve its infrastructure and exploit new services.

BIBLIOGRAFÍA

1.- CÁLCULO DE VAN Y TIR CON EXEL

<http://www.zonaeconomica.com/exel/van-tir>

2010/02/28

2.- FIBRA ÓPTICA

<http://www.portalplanetasedna.com.ar/cursos.htm>

2009/09/18

3.- MODELO JERÁRQUICO CISCO SYSTEMS

[http:// http://www.tech-faq.com/lang/es/cisco-three-layer-model-vs-osi-model.shtml&usg=ALkJrhiLyspBnfg3Se6wut9_dhvMwY7gVQ](http://http://www.tech-faq.com/lang/es/cisco-three-layer-model-vs-osi-model.shtml&usg=ALkJrhiLyspBnfg3Se6wut9_dhvMwY7gVQ)

2010/01/20

4.- TIPOS DE EMPALMES Y EQUIPOS PARA REDES ÓPTICAS

<http://www.pdf-search-engine.com/empalme-de-fibra-optica-pdf.html>

2009/10/09

5.- BACA, G. E BACA, G. Evaluación de Proyectos. 4ta. ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2001. 383 p.

6.- CHOMYCZ, B. Instalaciones de Fibra Óptica, fundamentos, técnicas y aplicaciones. 1era. ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2001. 383 p.

7.- MORA, A. Matemáticas Financieras. 3ra. ed. Colombia: Alfaomega colombiana, 2009. 280 p.

8.- NERI, R. Líneas de Transmisión. 1ra. ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 1999. 479 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Planes actuales FASTNET

PLANES CORPORATIVOS CANAL PURO 1-1

PLAN (1-1)	128 Kbps	256 Kbps	512 Kbps	1024 Kbps
INSTALACION DE RADIO ENLACE	120	120	120	120
ISTALACION DE FIBRA ÓPTICA	300	300	300	300
SERVICIO DE INTERNET	150	200	350	460

PLANES CORPORATIVOS CANAL COPARTIDO 1-4

PLAN (4-1)	128 Kbps	256 Kbps	512 Kbps	1024 Kbps
INSTALACION DE RADIO ENLACE	120	120	120	120
ISTALACION DE FIBRA ÓPTICA	300	300	300	300
SERVICIO DE INTERNET	80	100	120	150

PLANES HOME CANAL COMPARTIDO 1-8

PLAN (8-1)	128 Kbps	256 Kbps	512 Kbps	1024 Kbps
INSTALACION DE RADIO ENLACE	120	120	120	120
ISTALACION DE FIBRA ÓPTICA	300	300	300	300
SERVICIO DE INTERNET	30	40	60	70

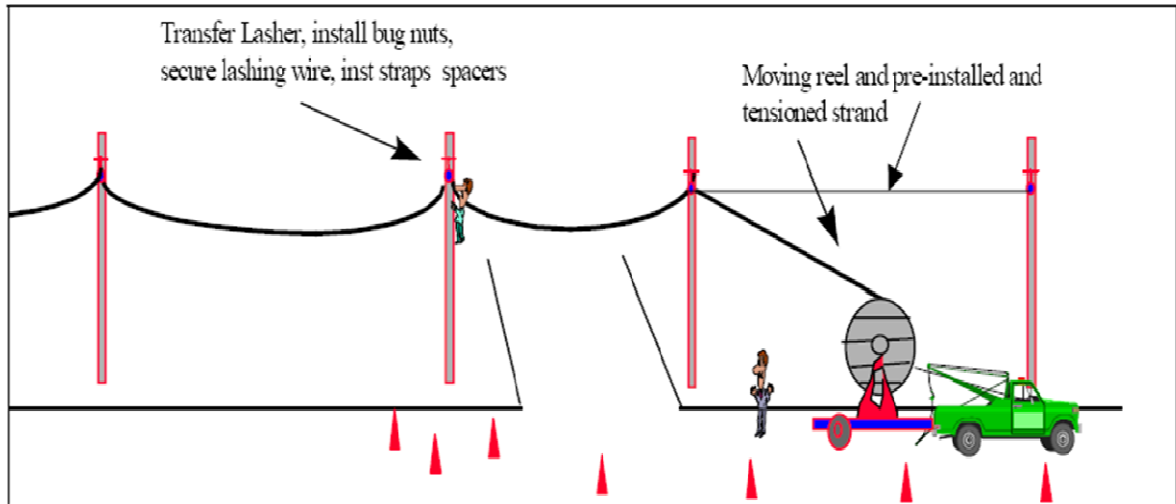
ANEXO 2

Mapa Catastral de la Ciudad de
Riobamba recorrido de la Fibra
Óptica.

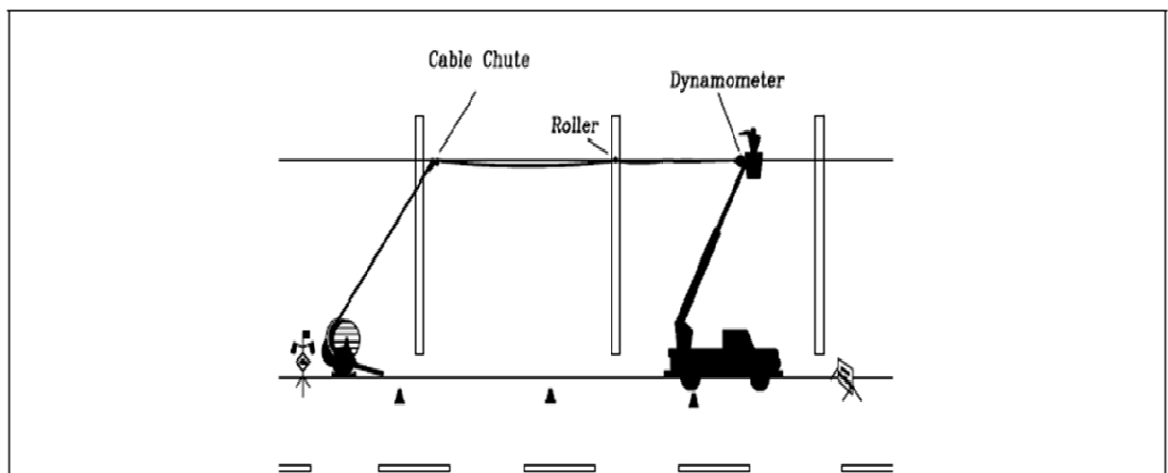
ANEXO 3

Métodos de tendido Aéreo

- Riel en Movimiento



- Riel Estacionario



ANEXO 4

Características del emisor y receptor
óptico

Características de Emisor Óptico

Fuente	Fibra Multimodo				Fibra Monomodo		
	LED		LASER		LED	LASER	
Ventana	1era	2da	1era	2da	1era	2da	3RA
Máxima Potencia Acoplada (dBm)	-10	-10	3	3	-24	0	0
Ancho Espectral (nm)	60	100	3	5	100	5	0.1

Características de Receptor Óptico

Dispositivo	Si	Ge	InGaAs	
Long. de onda (nm)	600:900	1100:1500	1200:1600	
Ventana	1era	2da	2da	3ra
Sensibilidad típica del receptor (dBm) (para un BER=10E-09 a velocidad de 34 Mbps)	-51	-45	-45	

