

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA**

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA MIGRACIÓN DE
REDES DE COBRE A REDES ÓPTICAS PASIVAS EN LA ZONA DE
PRIORIDAD A DE LA CIUDAD DE QUITO DE ACUERDO A LA
ORDENANZA MUNICIPAL LMU40**

OSCAR PATRICIO CEVALLOS CHAMORRO

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2013

Declaración de Responsabilidad

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Oscar Patricio Cevallos Chamorro

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado Análisis técnico-económico para la migración de redes de cobre a redes ópticas pasivas en la zona de prioridad A de la Ciudad de Quito de acuerdo a la Ordenanza Municipal LMU 40, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 08 de marzo de 2013

Oscar Patricio Cevallos Chamorro

Autorización de publicación

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Oscar Patricio Cevallos Chamorro

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo Análisis técnico-económico para la migración de redes de cobre a redes ópticas pasivas en la zona de prioridad A de la Ciudad de Quito de acuerdo a la Ordenanza Municipal LMU 40, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 08 de marzo de 2013

Oscar Patricio Cevallos Chamorro

Certificado de tutoría

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICADO

Ing. Fabián Sáenz e Ing. Carlos Romero

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado Análisis técnico-económico para la migración de redes de cobre a redes ópticas pasivas en la zona de prioridad A de la Ciudad de Quito de acuerdo a la Ordenanza Municipal LMU 40, realizado por Oscar Patricio Cevallos Chamorro, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que representa una alternativa válida para el análisis técnico y económico de las redes de fibra óptica pasiva, recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Oscar Patricio Cevallos Chamorro que lo entregue al Ingeniero Darío Duque, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 08 de marzo de 2013

Ing. Fabián Sáenz

DIRECTOR

Ing. Carlos Romero

CODIRECTOR

RESUMEN

En los últimos años se han hecho evidentes los avances tecnológicos en cuanto a hardware incorporado a la red de cobre con el fin de proveer a los usuarios finales mayores velocidades y sin duda un mejor desempeño, sin embargo, en un mundo donde las tecnologías y la propagación de datos avanzan a ritmos acelerados, exigiendo sistemas de transmisión con mayores capacidades, se deben encontrar posibilidades de actualización que permitan a las empresas contar con una red vanguardista que dé soporte eficiente a sus actividades, es aquí donde la fibra óptica hace su aparición, viéndose la necesidad de elaborar un estudio que permita analizar todos los hechos derivados de la migración del cobre hacia las redes ópticas pasivas y que contribuya con la solución a la creciente demanda de redes más eficientes que proporcionen mayores tasas de transmisión.

En el presente documento se realiza un estudio técnico-económico de todos los equipos y elementos necesarios para la implementación y puesta en marcha de una red de fibra óptica pasiva, considerando dos tipos de tecnologías relacionadas, *BroadbandPassiveOptical Network* y *Gigabit CapablePassiveOptical Network*. Previamente se realiza el análisis operativo de una red de cobre actualmente activa en la ciudad de Quito, de tal forma que se evalúen las diferencias entre los diferentes medios de transmisión, fibra óptica y cobre.

En los apartados siguientes, se diseñan dos tipos de soluciones en redes de fibra óptica pasivas y se indica un presupuesto total en cuanto a elementos activos, pasivos y mano de obra para la instalación de la red en planta externa, además de los ingresos que este tipo de enlaces representa para una empresa prestadora de servicios de telecomunicaciones; sin descuidar los costos generados por mantenimiento de red, daños ocasionados en el tendido y recurso humano necesario para la operación de la red; para ello se utilizan datos referenciales recopilados de empresas actualmente constituidas en la

ciudad de Quito y que prestan servicios a nivel empresarial en la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano.

Finalmente con la información recopilada se realiza una proyección de venta en base a conceptos financieros de sensibilidad, además del cálculo de indicadores fundamentales para la factibilidad y rentabilidad del proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por darme la familia que tengo y la dicha de poder compartir este logro con ellos.

A mis padres, Oscar y Miriam por ser el pilar fundamental de mi vida, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles, por ser un ejemplo de perseverancia y responsabilidad, y porque siempre, sin importar las circunstancias, puedo contar con ellos.

A mi hermano Juan Carlos, por ser mi amigo y compañero, por su generosidad, fruto del ejemplo de nuestros padres, por siempre pensar en mí antes que en él mismo.

A la mujer que me ha acompañado durante 5 años de mi vida y que continúa a mi lado, siendo un apoyo incondicional, mi mejor amiga y mi confidente, te amo Anita.

A mi mejor amigo, el Ches, con quién compartí más de 8 años de desinteresada amistad, que aunque tristemente partió hace un año a algún lugar cerca de Dios, sigue vivo en mi corazón y en el de todas las personas que aprendimos de él, el verdadero significado de la amistad.

A mis amigos del colegio, que pese a los años y a que la vida nos ha llevado por caminos distintos, seguimos más unidos que nunca y apoyándonos siempre.

Finalmente, a los 600, amigos y amigas de la u, con quienes compartí mi tiempo y mi vida durante más de 5 años de estudios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesores de la Escuela Politécnica del Ejército que aportaron con sus conocimientos para mi crecimiento profesional.

Al Ing. Juan Pablo Beltrán, Ing. César Yáñez, Ing. Rommel Arguello, Ing. Leonardo Quintero, Ing. Juan Manuel Lema, compañeros y amigos en mi primera experiencia laboral, gracias por su apoyo y su contribución con mi aprendizaje.

A mi director, Ing. Fabián Sáenz y codirector Ing. Carlos Romero, por sus aportes profesionales para la ejecución y finalización de este proyecto.

Finalmente, a todos los amigos que me brindaron su apoyo, e hicieron posible el concluir con éxito este trabajo.

PRÓLOGO

El presente documento se muestra como una herramienta para los profesionales que se desempeñan en áreas vinculadas con el diseño y administración de redes de planta externa, con la finalidad de proveer una referencia real de los elementos activos y pasivos utilizados en la puesta en marcha de una red PON con tecnologías BPON y GPON en el Distrito Metropolitano de Quito, además de todos los costos relacionados a este despliegue.

En el primer capítulo se abarcan los conceptos básicos de las tecnologías de acceso, desde las primeras definiciones relacionadas con las tecnologías desarrolladas para su operación sobre redes de cobre, hasta las nuevas alternativas de servicios a través de redes de fibra óptica pasivas. Se detallan todos los conceptos necesarios para mantener fluidez en la comprensión de los apartados siguientes.

En el segundo capítulo, se profundiza sobre el estudio de las redes de fibra óptica, iniciando con el detalle de todos los elementos necesarios en planta externa, cables, ductos, equipos, herrajes, conectores, con una breve descripción de las topologías más utilizadas en la actualidad. Posteriormente, se describen los distintos procedimientos utilizados para la instalación de redes de fibra óptica, tomando en cuenta las normas establecidas por entes reguladores y desglosando los detalles de medición y cálculo de potencia necesarios para el diseño de una red de fibra óptica en planta externa.

Al finalizar el capítulo 2, el lector contará con un proceso sistemático para el diseño y análisis de una red punto a punto, con derivaciones, y con splitter óptico; además del criterio para la toma de decisiones en referencia a los elementos a utilizar.

El capítulo 3 inicia con un análisis técnico de la ordenanza municipal LMU40, vigente en los límites del Distrito Metropolitano de Quito, donde se detalla el alcance geográfico, la división de zonas establecidas por el municipio, el tipo de prioridad y las consideraciones técnicas para la implementación de redes donde rige la ordenanza,

incluyendo la cantidad de cables, ubicación de mangas y componentes pasivos, y la distribución de los cables dentro de los ductos soterrados.

El siguiente paso es el análisis operativo de una red de cobre actualmente activa en el perímetro que comprende la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito, incluyendo eventos producidos, impacto del servicio, capacidad máxima soportada y detalles de la operación de la red, con el fin de mostrar una referencia de las dificultades y limitaciones que este tipo de tecnología posee.

Con las herramientas adquiridas en los capítulos anteriores, se realiza el diseño de una red de fibra óptica para la misma zona, utilizando dos tecnologías PON distintas: BPON y GPON. Se dimensiona la red, se detallan todos los componentes activos y pasivos necesarios para la puesta en marcha de la red en los dos casos y con esta información se realizan los cálculos de presupuesto de potencia y alcance, con el objetivo de evaluar la factibilidad técnica de los servicios.

A continuación, se señalan las empresas comercializadoras de los elementos de planta externa, existentes en el mercado nacional e internacional, para de esta manera contar con una referencia para conseguir todo el material necesario para el despliegue de la red.

Finalmente, se realiza un análisis detallado de los costos, ingresos y egresos involucrados en la instalación y operación de la red por un período de 5 años. Aquí, se elabora un listado de todos los elementos que se consideraron en el diseño del apartado anterior y se detallan los precios de todos estos elementos y equipos en el mercado, adicionalmente, se señalan los costos de mano de obra vigentes para la instalación de este tipo de redes. Con todos los datos recopilados, se elabora un análisis financiero de proyección de ventas en base a conceptos de sensibilidad que servirá para el cálculo de variables elementales de rentabilidad y factibilidad del proyecto, y, culminar con la comparación de los resultados obtenidos, en las conclusiones y recomendaciones del documento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	25
1. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO.....	25
1.1 Generalidades.....	25
1.2 Acceso por cobre.....	26
1.3 Acceso básico RDSI (red digital de servicios integrados).....	26
1.3.1 HDSL (high bit rate digital subscriber line).....	27
1.3.2 SDSL (single line digital subscriber line).....	29
1.3.3 ADSL (asymmetric digital subscriber line).....	30
1.3.4 UDSL (universal ADSL).....	32
1.3.5 VDSL (very high digital subscriber line).....	32
1.4 La historia de la fibra óptica.....	33
1.5 Espectro electromagnético.....	34
1.6 Fibra óptica.....	37
1.6.1 Fibra Monomodo.....	38
1.6.2 Fibra Multimodo.....	39
1.7 Tecnologías PON.....	39

1.7.1	Introducción.....	40
1.7.2	Estándares desarrollados.....	41
1.7.3	Redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit. BPON.....	42
1.7.4	Redes ópticas pasivas de Banda Ancha. GPON.....	42
1.7.5	Comparación de las tecnologías PON.....	43
1.7.6	TecnologíasFTTX(Fiber To The X).....	45
1.7.6.1	Fiber to the node.....	45
1.7.6.2	Fiber to the building.....	46
1.7.6.3	Fibertothe home.....	46
1.8	Las redes de cobre vs las redes ópticas.....	47
CAPITULO II.....		48
2.	ESTUDIO DE LAS REDES DE FIBRA ÓPTICA.....	48
2.1	Elementos de una red de fibra óptica.....	48
2.1.1	Topologías y nodos.....	49
2.1.1.1	Redes punto a punto.....	49
2.1.1.2	Redes punto a multipunto.....	49
2.1.1.3	Redes en estrella.....	50
2.1.1.4	Redes anilladas.....	50
2.1.2	Tipos de redes.....	51
2.1.2.1	Red aérea.....	51
2.1.2.2	Red canalizada.....	52
2.1.2.3	Red directamente enterrada.....	52

2.1.3	Cables de fibra óptica.....	53
2.1.3.1	StrandedLooseTube.....	53
2.1.3.2	Central LooseTube.....	53
2.1.3.3	Cables aéreos.....	54
2.1.3.4	Cables de uso específico.....	56
2.1.4	Ductos, Biductos, Triductos.....	56
2.1.5	Rack de equipos.....	57
2.1.7	Herrajes.....	58
2.1.8	Cajas Terminales.....	58
2.1.9	Tipos de adaptadores y conectores.....	59
2.1.9.1	Conectores ST.....	60
2.1.9.2	Conectores SC.....	60
2.1.9.3	Conectores FC.....	61
2.1.9.4	Conectores LC.....	61
2.1.10	Formas de conexión de fibra.....	62
2.1.10.1	Union por fusión.....	62
2.1.10.2	Unión mecánica.....	63
2.2	Procedimientos para la instalación de redes de fibra óptica.....	65
2.2.1	Tendido de fibra óptica.....	65
2.2.1.1	Tendido submarino.....	65
2.2.1.2	Tendido aéreo.....	66
2.2.1.3	Tendido terrestre.....	66
2.2.2	Cruces especiales.....	67

2.2.3	OTDR.....	68
2.2.3.1	Eventos reflectivos.....	68
2.2.3.2	Eventos no reflectivos.....	69
2.2.3.3	Eventos macro y micro bending.....	69
2.2.3.4	Fin de fibra.....	70
2.2.3.5	Ruptura de fibra.....	70
2.2.4	Power Budget.....	71
2.3	Diseño de redes de fibra óptica.....	72
2.3.1	Enlaces punto a punto.....	73
2.3.2	Redes con derivaciones.....	74
2.3.3	Redes con splitter óptico.....	74
CAPITULO III.....		76
3. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS REDES DE COBRE Y FIBRA ÓPTICA.....		76
3.1	Análisis técnico de la ordenanza LMU40.....	76
3.1.1	Evaluación geográfica de la zona de prioridad A de la ciudad de Quito.....	78
3.2	Análisis Operativo de la red de cobre de una empresa de telecomunicaciones de la ciudad de Quito.....	83
3.2.1	Vulnerabilidad de la red de cobre.....	84
3.2.2	Capacidad de la red de cobre.....	87
3.3	Diseño de una red Broadband – PON para la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito.....	88
3.3.1	Requerimientos de operación del sistema.....	88

3.3.2	Requerimientos físicos y ambientales.....	90
3.3.3	Presupuesto de potencia de la señal óptica.....	93
3.3.4	Análisis del ancho de banda.....	94
3.3.5	Revisión del diseño del sistema.....	95
3.4	Diseño de una red Gigabit Capable – PON para la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito.....	95
3.4.1	Requerimientos de operación del sistema.....	95
3.4.2	Requerimientos físicos y ambientales.....	96
3.4.3	Presupuesto de potencia de la señal óptica.....	97
3.4.4	Análisis del ancho de banda.....	98
3.4.5	Revisión del diseño del sistema.....	98
3.5	Investigación de equipos para redes PON en el mercado nacional e internacional..	99
3.6	Análisis de costos para la migración hacia redes BPON.....	101
3.6.1	Proyección financiera en el mejor escenario.....	108
3.6.2	Proyección financiera en el peor escenario.....	111
3.7	Análisis de costos para la migración hacia redes GPON.....	113
3.7.1	Proyección financiera en el mejor escenario.....	116
3.7.2	Proyección financiera en el peor escenario.....	118
CAPITULO IV.....		121
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
4.1	Conclusiones.....	121
4.2	Recomendaciones.....	123

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....125

ANEXOS.....127

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1	Esquema de funcionamiento HDSL.....	28
Figura 1.2	Tecnología SDSL.....	29
Figura 1.3	Esquema de conexión ADSL.....	30
Figura 1.4	Funcionamiento del splitter ADSL.....	31
Figura 1.5	Espectro electromagnético.....	35
Figura 1.6	Espectro visible.....	36
Figura 1.7	Atenuación por longitud de onda en fibra óptica.....	36
Figura 1.8	Cable de fibra óptica.....	37
Figura 1.9	Relación núcleo/revestimiento en fibra óptica.....	38
Figura 1.10	Fibra óptica monomodo.....	38
Figura 1.11	Red óptica pasiva.....	40
Figura 1.12	Topología de una red óptica pasiva.....	40
Figura 1.13	Comparativa de las tecnologías BPON y GPON.....	44
Figura 1.14	Fiber to the node.....	45
Figura 1.15	Fiber to the building.....	46

Figura 1.16	Fiber to the home.....	46
-------------	------------------------	----

CAPITULO II

Figura 2.1	Redes punto a punto.....	49
Figura 2.2	Redes punto a multipunto.....	49
Figura 2.3	Redes en estrella.....	50
Figura 2.4	Redes anilladas.....	51
Figura 2.5	Cables para redes aéreas, figura 8 y ADSS.....	51
Figura 2.6	Red canalizada.....	52
Figura 2.7	Procedimiento red directamente enterrada.....	52
Figura 2.8	Cable de fibra óptica StrandedLooseTube.....	53
Figura 2.9	Cable de fibra óptica Central LooseTube.....	54
Figura 2.10	Cable de fibra óptica ADSS.....	55
Figura 2.11	Cable de fibra óptica Figura 8.....	55
Figura 2.12	SPAN fibra óptica.....	56
Figura 2.13	Herrajes para fibra óptica.....	58
Figura 2.14	Caja terminal para fibra óptica.....	59
Figura 2.15	Conectores ST para fibra óptica.....	60
Figura 2.16	Conectores SC para fibra óptica.....	60
Figura 2.17	Conectores FC para fibra óptica.....	61
Figura 2.18	Conectores LC para fibra óptica.....	61
Figura 2.19	Fusión de fibra óptica 1.....	63
Figura 2.20	Fusión de fibra óptica 2.....	64

Figura 2.21	Fusión de fibra óptica 3.....	64
Figura 2.22	Eventos reflectivos OTDR.....	69
Figura 2.23	Eventos no reflectivos OTDR.....	69
Figura 2.24	Fin de fibra OTDR.....	70
Figura 2.25	Ruptura de fibra OTDR.....	70
Figura 2.26	Medición de fusionadora de FO obtenida luego de una fusión óptima.....	72

CAPITULO III

Figura 3.1	Mapa geográfico de la Zona de Prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito.....	80
Figura 3.2	Soterramiento Proyecto Patrimonial Bulevar Av. Naciones Unidas – Quito.....	81
Figura 3.3	Soterramiento Entidades Privadas Av. República del Salvador –Quito.....	82
Figura 3.4	Disposición de ductos en las zanjas destinadas para redes de telecomunicaciones (izquierda).....	83
Figura 3.5	Porcentajes de ocurrencia por evento durante el primer quimestre del año 2012.....	86
Figura 3.6	Eventos registrados en la Zona A del Distrito Metropolitano de Quito.....	86
Figura 3.7	Ubicación de elementos pasivos dentro de la red de FO de Planta Externa.....	89
Figura 3.8	Esquema lógico de operación de elementos de planta externa.....	89
Figura 3.9	OLT Marca Tellabs 1000 – DMAX 1120.....	90
Figura 3.10	Tarjeta PON TELLABS.....	90
Figura 3.11	ONT 611i TELLABS.....	91

Figura 3.12	Manga TYCO FIST – GCO2.....	91
Figura 3.13	Mangas TYCO 400.....	91
Figura 3.14	CassettesFIST-SOSA2.....	92
Figura 3.15	Splitters FIST-SASA2.....	92
Figura 3.16	Cable de fibra óptica ADSS (ITU-T Rec. G.652D). Ilustración tomada del datasheet del cable.....	92
Figura 3.17	OLT Hi-FOCuS F-152 MSAN.....	96
Figura 3.18	ONT B-FOCuS O-1G.....	96
Figura 3.19	Tarjeta tributaria GPON GPLT4.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1	Velocidades típicas de VDSL de acuerdo a la longitud de la línea.....	33
-----------	---	----

CAPITULO III

Tabla 3.1	Cables de cobre existentes dentro del perímetro de la zona A.....	84
Tabla 3.2	Eventos atendidos durante el primer quimestre del año 2012.....	85
Tabla 3.3	Porcentajes de ocurrencia por evento durante el primer quimestre del año 2012.....	85
Tabla 3.4	Eventos registrados en la Zona A del Distrito Metropolitano de Quito.....	86
Tabla 3.5	Resumen de mediciones de desempeño distancia vs capacidad.....	88
Tabla 3.6	Cálculo de pérdida de potencia máxima en fibra óptica monomodo, diseño BPON.....	94
Tabla 3.7	Cálculo de pérdida de potencia máxima en fibra óptica monomodo, diseño GPON.....	97
Tabla 3.8	Planta Externa, elementos y equipos necesarios para la implementación de una red BPON.....	102
Tabla 3.9	Costos referenciales de mano de obra para implementación de la red de Planta Externa.....	104
Tabla 3.10	Costo total de implementación de la red de Planta Externa.....	105

Tabla 3.11	Inversión inicial total BPON.....	106
Tabla 3.12	Costo para implementación de servicio por cliente (mano de obra).....	106
Tabla 3.13	Costo de mantenimiento de la red de planta externa anual.....	107
Tabla 3.14	Precios referenciales del servicio por capacidad del canal.....	107
Tabla 3.15	Proyección de venta BPON (mejor escenario).....	109
Tabla 3.16	Flujo de caja neto BPON (mejor escenario).....	110
Tabla 3.17	Inversión total Red BPON.....	110
Tabla 3.18	Flujo neto total Red BPON.....	110
Tabla 3.19	TIR y VAN en el mejor escenario BPON.....	111
Tabla 3.20	Proyección de venta BPON (peor escenario).....	111
Tabla 3.21	Flujo de caja neto BPON (peor escenario).....	112
Tabla 3.22	TIR y VAN en el peor escenario BPON.....	112
Tabla 3.23	Planta Externa. Elementos y equipos necesarios para la implementación de una red GPON.....	113
Tabla 3.24	Inversión total para implementación de la red GPON.....	115
Tabla 3.25	Proyección de venta GPON (mejor escenario).....	116
Tabla 3.26	Flujo de caja neto GPON (mejor escenario).....	117
Tabla 3.27	TIR y VAN en el mejor escenario GPON.....	117
Tabla 3.28	Proyección de venta GPON (peor escenario).....	118
Tabla 3.29	Flujo de caja neto GPON (peor escenario).....	119
Tabla 3.30	TIR y VAN en el peor escenario GPON.....	119

GLOSARIO

Algoritmo: Conjunto de instrucciones para llevar a cabo una tarea, los pasos deben ser finitos, claros y eficientes.

Análisis de sensibilidad: Es un término financiero, muy utilizado en el mundo de la empresa a la hora de tomar decisiones de inversión, que consiste en calcular los nuevos flujos de caja y el VAN, al cambiar una variable. De este modo teniendo los nuevos flujos de caja y el nuevo VAN, se podrá calcular o mejorar las estimaciones sobre el proyecto que se va a comenzar en el caso de que esas variables cambiasen o existiesen errores iniciales de apreciación por parte de quien elabora el análisis, en los datos obtenidos inicialmente.

Aramida: Es una categoría de fibra sintética, robusta y resistente al calor. Las cadenas moleculares de las fibras de aramida están altamente orientadas en el eje longitudinal, lo que permite aprovechar la fuerza de sus uniones químicas para usos industriales.

Arquitectura asimétrica: En telecomunicaciones, se utiliza este término para referirse a una tasa de subida de información a través del medio, diferente de la tasa de bajada.

Arquitectura simétrica: De forma análoga a la Arquitectura Asimétrica, este término se utiliza para referirse a una tasa de subida de información a través del medio, igual a la tasa de bajada.

Atenuación: Se refiere a la pérdida de potencia sufrida por una señal, al transitar por cualquier medio de transmisión.

Backbone: Se refiere a las principales conexiones troncales de una red de prestación de servicios.

Buffer: El buffer es la cubierta de plástico que le da a la fibra una rigidez adicional, dentro de este se encuentran los tubillos que contienen el hilo de fibra óptica.

Convertor de medio: Los convertidores de medios trabajan en la capa física de la red. Reciben señales de datos de un medio y los convierten en señales de otro medio, de un modo transparente para el tráfico de datos y otros dispositivos de la red.

Datacenter: Es aquella ubicación donde se concentran los recursos necesarios para el procesamiento de la información de una organización.

Datasheet: Es un documento que resume el funcionamiento y otras características de un componente o subsistema con el suficiente detalle para ser utilizado por un ingeniero para diseñar el componente de un sistema.

Espectro electromagnético: Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas

Férula: Es un cilindro de cerámica cuyo diámetro coincide con el diámetro del revestimiento de la fibra, cuya misión es alinear y proteger mecánicamente a la fibra óptica.

Full dúplex: Cualidad de los elementos que permiten la entrada y salida de datos de forma simultánea.

Modulación: Engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal.

Nodo: Es un espacio físico en el que confluyen parte de las conexiones de clientes y de otros espacios con las mismas características, es decir, constituye un punto de conexión masiva de enlaces de una empresa de telecomunicaciones.

Overhead: Es el desperdicio de ancho de banda, causado por la información adicional que debe viajar además de los datos, en los paquetes de un medio de comunicación. El overhead afecta al Throughput, de una conexión.

Patchcord: Cable que se usa en una red para conectar un dispositivo electrónico con otro.

Pigtails: Es un trozo de cable que lleva en cada uno de sus extremos un conector, en el caso de la fibra óptica, en un extremo existe un conector SC, FC, LC, etc, y en el otro, un hilo de fibra óptica desnudo, con la finalidad de fusionarlo con otra fibra.

Planta externa: Es toda la infraestructura exterior o medios enterrados, tendidos o dispuestos a la intemperie por medio de los cuáles una empresa de telecomunicaciones o energía ofrece sus servicios al cliente que lo requiere.

Redes de transporte:Es una red de ámbito nacional estructurada en capas. Transporta información de usuario desde un punto a otro u otros puntos de forma bidireccional o unidireccional. Transfiere diversas clases de información de control de red, tales como la señalización e información de operaciones y mantenimiento.

Redes de última milla:También conocidas como redes de acceso, tienen como propósito enlazar las redes de los operadores con sus usuarios, sean residenciales o corporativos.

Splitter:Componente pasivo en planta externa. Divide el haz de luz y lo distribuye hacia múltiples fibras o lo combina dentro de una misma fibra.

Throughput:Cantidad de datos por unidad de tiempo que se entregan, mediante de un medio físico o lógico, en un nodo de la red.

TIR:Es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para reinvertir.

VAN:Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

Vano:Es la distancia total que existe entre puntos repetidores o postes. Este término se utiliza en todo lo relacionado con tendidos de planta externa.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO

1.1 GENERALIDADES

En los últimos años se ha evidenciado un creciente avance tecnológico en lo referente a la capacidad incorporada en las redes de backbone de las empresas de telecomunicaciones que prestan este tipo de servicios en el país, haciendo uso de los nuevos algoritmos de transmisión y protocolos a la vanguardia de las exigencias del mundo moderno, a pesar de ello, el usuario final no ha experimentado un verdadero cambio en el desempeño que presenta su enlace. Si bien es cierto la red de acceso por cobre, que es la más difundida hasta el momento, ha experimentado cambios significativos que han permitido aumentar la velocidad de transmisión de datos llegando hasta unos optimistas 24Mbps en transmisión ADSL¹, lo que verdaderamente interesa es mejorar estas capacidades a niveles acordes a las necesidades que la tecnología actual requiere y aprovechar los recursos existentes en el país y en el mundo.

Por ello, debido a las limitaciones tecnológicas actuales que presenta la red de acceso al usuario, es necesario analizar posibles soluciones, donde tomando en cuenta las características del medio de transmisión, las soluciones por fibra óptica toman

¹Unión Internacional de Telecomunicaciones, Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus) Rec. G.992.5 Anexo M, 2009.

protagonismo debido a su ingente ancho de banda y a la capacidad de extender dichas redes más allá de los estándares actuales.

1.2 ACCESO POR COBRE

Hablar de acceso por cobre, refiere principalmente al enlace físico que une los puntos de terminación de red de abonado, con la red principal del operador de telecomunicaciones. La red de acceso por cobre está compuesta por un cable formado por hilos de cobre trenzados y aislados entre sí, y que, en el Ecuador, se desplegaron inicialmente para prestar servicios de telefonía fija sobre la Red Telefónica Conmutada (RTC) debido a su bajo costo y a la apropiada respuesta en bajas frecuencias, ideales para la voz, que se transmite entre 300Hz y 3,4KHz a través de la red telefónica. Sobre un par de cobre conectado a la RTC también se puede tener acceso a redes de datos mediante el empleo de modems, cuya utilidad radica en su capacidad de transmitir y recibir datos sobre la banda vocal. Sin embargo, el par de cobre está siendo ahora utilizado para prestar servicios de banda ancha mediante la aplicación de tecnologías de acceso xDSL, que aprovechan la adecuada respuesta del par de cobre a frecuencias por encima de 1MHz.²

1.3 ACCESO BÁSICO RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), es la mejor solución para combinar flexiblemente diferentes tipos de comunicaciones: voz, datos, Internet, fax, videoconferencia, a través de una única línea.³ Un Acceso Básico RDSI se compone de 2 canales de comunicación de alta velocidad de 64 Kbps cada uno, que pueden utilizarse indistintamente para voz y datos. Adicionalmente, dispone de otro canal de 16 Kbps para señalización y provisión de servicios suplementarios.

² Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, Par de cobre, http://es.wikitel.info/wiki/Par_de_cobre, 18 de Abril de 2011.

³ Telefónica, Línea RDSI Acceso Básico,

http://www.movistar.es/on/onTOFichaProducto/0,,v_segmento+EMPR+v_idioma+es+v_seggest+EMPR+v_pagina+LW5+v_producto+1097+dsCatPrimerNivel+VOZ,00.html, 25 de Abril de 2011.

Dentro de la gama de funcionalidades de la RDSI, se pueden distinguir tres tipos de servicios⁴:

a. Servicios básicos:

Tráfico de datos a 64 Kbps, conversación telefónica, servicio de audio a 3,1 KHz, simultaneidad de datos y voz (2 o más canales B), tráfico de datos a 384 Kbps, tráfico de datos a 1.536 Kbps. (US) o 1.920 Kbps. (Europa), backup digital de líneas punto a punto, circuitos conmutados y circuitos virtuales permanentes, señalización de usuario.

b. Tele-servicios:

Conversación a 3,1 KHz, videoconferencia, teletexto, telefax, videotexto, vigilancia y seguridad remota, aplicaciones médicas, transmisiones de radio de alta calidad de audio, home-working.

c. Servicios suplementarios:

Visualizar o restringir el número de quien llama o recibe la llamada, transferencia incondicional de llamadas, desvío de llamada en caso de no contestación, llamada en espera, marcación directa, señalización usuario a usuario.

En el Ecuador, se popularizaron las aplicaciones cuya tecnología involucra la implementación de servicios xDSL sobre la red RDSI, siendo estos: HDSL, SDSL, ADSL, UDSL, VDSL. En el siguiente apartado se detallan las características de estos sistemas.

1.3.1 HDSL (high bit rate digital subscriber line)

Consiste en el aprovechamiento de los pares de cobre que conforman la planta externa para servicios telefónicos, mediante la transmisión de señales digitales con velocidades de hasta 2048 kbps. Para aprovechar al máximo las capacidades de transmisión, fue necesario ajustar el desarrollo de la tecnología a las distancias típicas utilizadas en los servicios telefónicos, es decir, la tecnología de línea de abonado digital de alta velocidad soporta distancias máximas de 4 Km.

⁴Jordi Palet, Datamation, Telefonía y Servicios Digitales, <http://www.consulintel.es/html/Tutoriales/Articulos/rdsi.html>, Mayo 2009, 25 de Abril de 2011.

HDSL se basa en un código de línea orientado a obtener más distancia de cable de cobre sin repetidores. HDSL emplea dos pares de cada uno operando en modo full duplex. El alcance de la transmisión depende en la medida del alambre de cobre desplegado. En la mayoría de los tendidos se utilizan alambres 24 AWG, con longitudes promedio de 915m a 1280m.

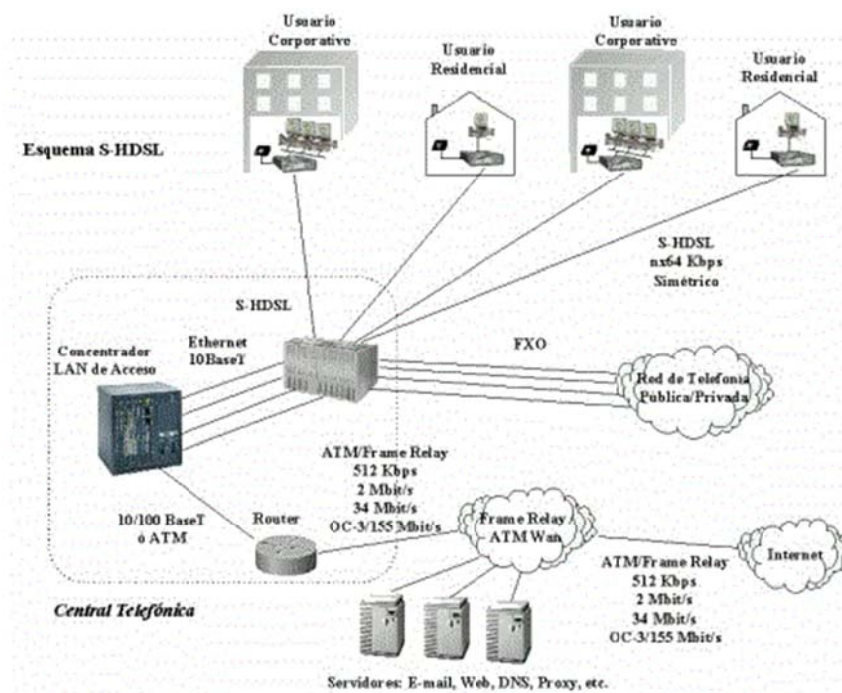


Figura. 1.1. Esquema de funcionamiento HDSL.

HDSL parte de una técnica de transmisión que amplía un ancho de banda estrecho como el del cobre para trabajar en el rango de los multimegabits. HDSL, plantea la solución de la ingeniería de comunicaciones: la compensación continua de la señal, a través de considerar las condiciones existentes en el cable por donde se transmite la información. Así la técnica crea un modelo matemático del cable de cobre que permite al sistema de transmisión compensar las distorsiones originadas en el medio.⁵

La técnica hace que los 2048 kbps lleguen al cliente a través del dispositivo HDSL, y de ahí que la trama se divida en dos, una por cada par de cobre. Al llegar la señal al otro extremo se reensamblan las 2 señales, y se restituyen los 2048 kbps con la estructura de

⁵Stefania Truant Gnoato, HDSL (HIGH BIT RATE DIGITAL SUSCRIBER LINE), <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/hdsl.html>, 04 de Agosto de 2011.

trama completa. Esto pudiera hacer a la técnica menos tolerante al ruido, sin embargo el uso de la ecualización adaptativa permite que esto no sea así.

Una de las principales aplicaciones de HDSL es el acceso de última milla, a costo razonable, hacia redes de transporte digital para RDSI, redes satelitales y del tipo FrameRelay.

1.3.2 SDSL (single digital suscribe line)

Esta tecnología es muy similar a la HDSL, ya que soporta transmisiones simétricas, pero utiliza un solo par de cobre y tiene un alcance máximo de 3048 metros. Sin superar esta distancia, será posible mantener una velocidad semejante a HDSL.

SDSL utiliza una frecuencia digital viajando a través de una línea telefónica de cobre existente para enviar y recibir datos. Cuando el servicio SDSL está siendo utilizado, los servicios de voz necesitan ser suspendidos, es por esto, que normalmente este servicio es contratado sobre una línea telefónica adicional; esto difiere de tecnologías como ADSL donde esta particularidad no es aplicada.

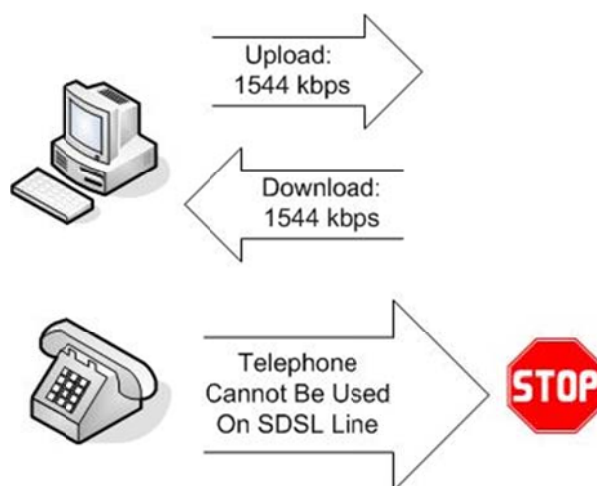


Figura. 1.2. Tecnología SDSL

La tecnología de línea de abonado digital simple provee el mismo ancho de banda en ambas direcciones, tanto para subir como para bajar datos, es decir

que, independientemente de que se esté cargando o descargando información, se tiene el mismo rendimiento de excelente calidad. SDSL brinda velocidades de transmisión de hasta 1,5 Mbps a una distancia máxima de 3700m en la última milla, a través de un único par de cables.

1.3.3 ADSL (asymmetric digital subscriber line)

La tecnología ADSL se basa en una técnica de modulación de la señal que permite una transmisión de datos a gran velocidad a través de un par de hilos de cobre. La diferencia entre la modulación de los módems de HDSL y SDSL con los de ADSL es que estos modulan a un rango de frecuencias superiores a las normales, esto supone que ambos tipos de modulación, para la voz y para los datos, pueden estar activos en un mismo instante ya que trabajan en rangos de frecuencia distintos.

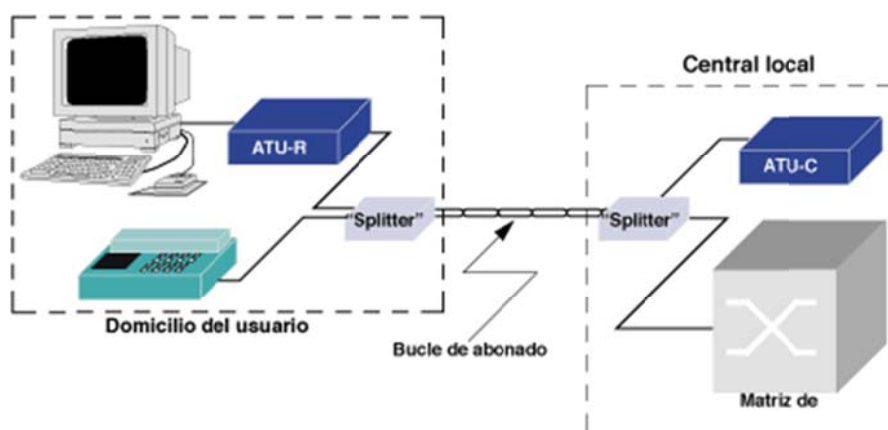


Figura. 1.3. Esquema de conexión ADSL.

La conexión ADSL es una conexión asimétrica, esto implica que los módems ubicados en la central y en el cliente son distintos. En esta tecnología aparece un elemento llamado *splitter*, el cual está formado por dos filtros, uno pasa altos y otro pasa bajos, cuya única función es separar las dos señales que van por la línea de transmisión, la de telefonía (bajas frecuencias) y la de datos (altas frecuencias).

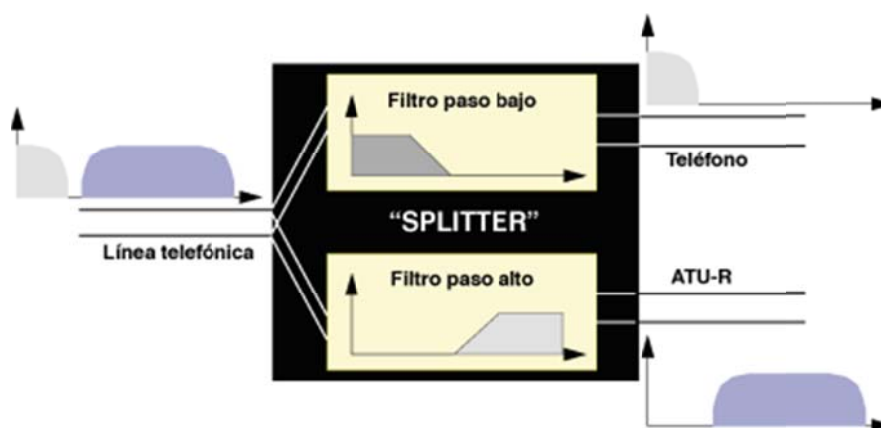


Figura. 1.4. Funcionamiento del splitter ADSL

Ambos módems utilizan los mismos algoritmos de modulación, la diferencia está en que el modem de la central puede disponer de 256 subportadoras, mientras que el modem del usuario sólo dispone de 32, es por esta razón que la velocidad de bajada siempre es superior a la de subida.

Es de señalar que en un cable formado por pares de cobre, la atenuación de la señal en este tipo de cable es directamente proporcional a la longitud del mismo, es por ello que, la velocidad máxima que es capaz de suministrarse al usuario será diferente, dependiendo de la distancia del abonado con respecto a su central o nodo más cercano. A una distancia típica en la ciudad de Quito, de 2Km entre el usuario y el nodo, la velocidad máxima que puede tener el usuario es de 2 Mbps en sentido de bajada y 0.9 Mbps en sentido de subida.

Existen versiones mejoradas de ADSL, conocidas como ADSL2 y ADSL2+, estas tecnologías están ausentes en el mercado de las telecomunicaciones en Ecuador, salvo minúsculas excepciones.

ADSL2 añade nuevas características y funcionalidades destinadas a mejorar el rendimiento e interoperabilidad, y añade soporte para nuevas aplicaciones, y servicios. Los cambios consisten en mejoras en la velocidad de datos y distancias alcanzadas, adaptación de velocidad, consumo y autodiagnóstico. Por otro lado, ADSL2+

prácticamente duplica las velocidades de ADSL, pudiendo alcanzar hasta 20 Mbps de bajada y 1 Mbps de subida.⁶

1.3.4 UDSL (universal ADSL)

Es muy poco lo que se ha dicho con respecto a esta tecnología, pero cabe señalarla dentro de la clasificación de servicios que se ofrecen bajo la Red Digital de Servicios Integrados como una nueva tecnología basada en xDSL que permite alcanzar velocidades de transferencia de hasta 200 Mbps. Esto, mediante un chip diseñado por Texas Instruments que permite a la tecnología xDSL alcanzar anchos de banda de hasta 200 Mbps.

La tecnología UDSL es compatible con las variaciones de xDSL, incluyendo ADSL y VDSL, lo que permite a las compañías telefónicas ampliar anchos de banda sobre las líneas ya tendidas.

1.3.5 VDSL (very high digital subscriber line)

VDSL es una alternativa para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos, consiste en la combinación de cables de fibra óptica alimentando a las unidades ópticas de red en los sectores residenciales, con la conexión final a través de la red telefónica de cobre. En esta inusual configuración, se incluyen las tecnologías FTTx o FiberToThe X, por sus siglas en inglés, donde se llega con fibra óptica hasta las premisas del usuario. Entre las variaciones de esta tecnología, se encuentra la FTTCab o FibertoTheCabinet, la cual utiliza una conexión por fibra desde la central o nodo más cercano hasta la cabina de telecomunicaciones ubicada en las cercanías del usuario.

Una de las tecnologías empleadas por FTTCab, es VDSL (línea de abonado digital de muy alta velocidad), la cual transmite datos a alta velocidad sobre distancias cortas utilizando pares trenzados de líneas de cobre con un rango de velocidad que depende de la longitud de la línea. La máxima velocidad de transmisión de la red al cliente está entre 51 y 55 Mbps sobre líneas de 300 metros de longitud. Las velocidades del cliente a la red, van a

⁶ Ing. Ramón Jesús Millán, ¿Qué es el ADSL, ADSL2, ADSL2+ y VDSL?, <http://www.monografias.com/trabajos62/adsl/adsl2.shtml>, 09 de Agosto de 2011.

ser mayores que en ADSL. VDSL puede operar tanto en modo simétrico como en el asimétrico.

Tabla. 1.1. Velocidades típicas de VDSL de acuerdo a la longitud de la línea

Distancia (metros)	Velocidad de datos Downstream (Mbps)	Velocidad de datos Upstream (Mbps)
300	52	6.4
300	26	26
1000	26	3.2
1000	13	13
1500	13	1.6

VDSL puede considerarse como la sucesora de ADSL. En downstream, ADSL proporciona transporte de datos de hasta 58 Mbps, mientras que en upstream, proporciona cerca de 1 Mbps. VDSL puede transportar datos de video y de otros tipos de tráfico a velocidades de cinco a diez veces superiores a ADSL. Adicionalmente, al instalarse de forma simétrica o asimétrica, se adapta mejor a las exigencias del mercado.

1.4 LA HISTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA

El concepto de transmisión utilizando ondas de luz mediante los fenómenos asociados a este tipo de energía, tienen su origen en el año 1841 cuando el físico suizo Daniel Colladon descubre las reflexiones que sufre la luz dentro de una corriente de agua, el experimento realizado por este reconocido investigador de la época, marca el inicio para futuros estudios sobre óptica, y, en 1880 se manufacturan las primeras fibras de vidrio, pero es recién en 1954 cuando es adoptado el término con el cual se conoce a este material hasta la actualidad, la fibra óptica.

En 1960 el doctor Theodore Maiman de la reconocida Hughes Research inventa el primer dispositivo de luz amplificada por simulación de radiación emitida o mejor conocido como laser por sus siglas en inglés. No es sino hasta 1965 que se realizan las primeras pruebas de este dispositivo sobre fibra óptica y se da lugar al laser para fibra. Con

este antecedente, las empresas pioneras en el desarrollo de tecnología de la época, como STL o AT&T, comienzan la carrera por la manufacturación de fibra óptica con un índice de atenuación cada vez más bajo, empezando por unos sorprendentes 20 dB/Km hasta avanzar, en 1974, a unos ya más aceptables 2dB/Km con un ancho de banda de 1Ghz. 95 años después de la creación de la primera fibra óptica, se realiza el primer tendido comercial para telecomunicaciones en la ciudad de Dorsett, Inglaterra, utilizando procedimientos propios del trabajo en fibra, como la fusión, que están vigentes hasta la actualidad.

En 1981 se cristalizan los primeros sistemas multimodo a 1300nm y en el siguiente año, se propone el primer estándar para comunicaciones por fibra óptica en el mundo, además de la introducción al mercado de las telecomunicaciones de la fibra óptica monomodo.

A partir de esta década se provoca un estallido mundial en cuanto al desarrollo de tecnologías involucradas dentro de los sistemas de fibra óptica, y es aquí donde se empiezan a desarrollar los sistemas SONET, HDTV e incluso FTTH que conocemos en la actualidad. La década de los 90's se caracteriza por la aparición de los estándares que rigen esta tecnología, y el desarrollo de algoritmos y hardware que permiten aprovechar al máximo el ancho de banda que brinda la transmisión de luz por fibra óptica.

En la actualidad se cuenta con sistemas NTT que transmiten a una velocidad de 14 Tb/s sobre una línea de fibra óptica simple de 160 Km de longitud, además de sistemas ópticos pasivos que aprovechan al máximo las técnicas de modulación para dar servicio a decenas de clientes sobre un mismo hilo de fibra óptica.

1.5 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se encuentra dividido de la siguiente manera:

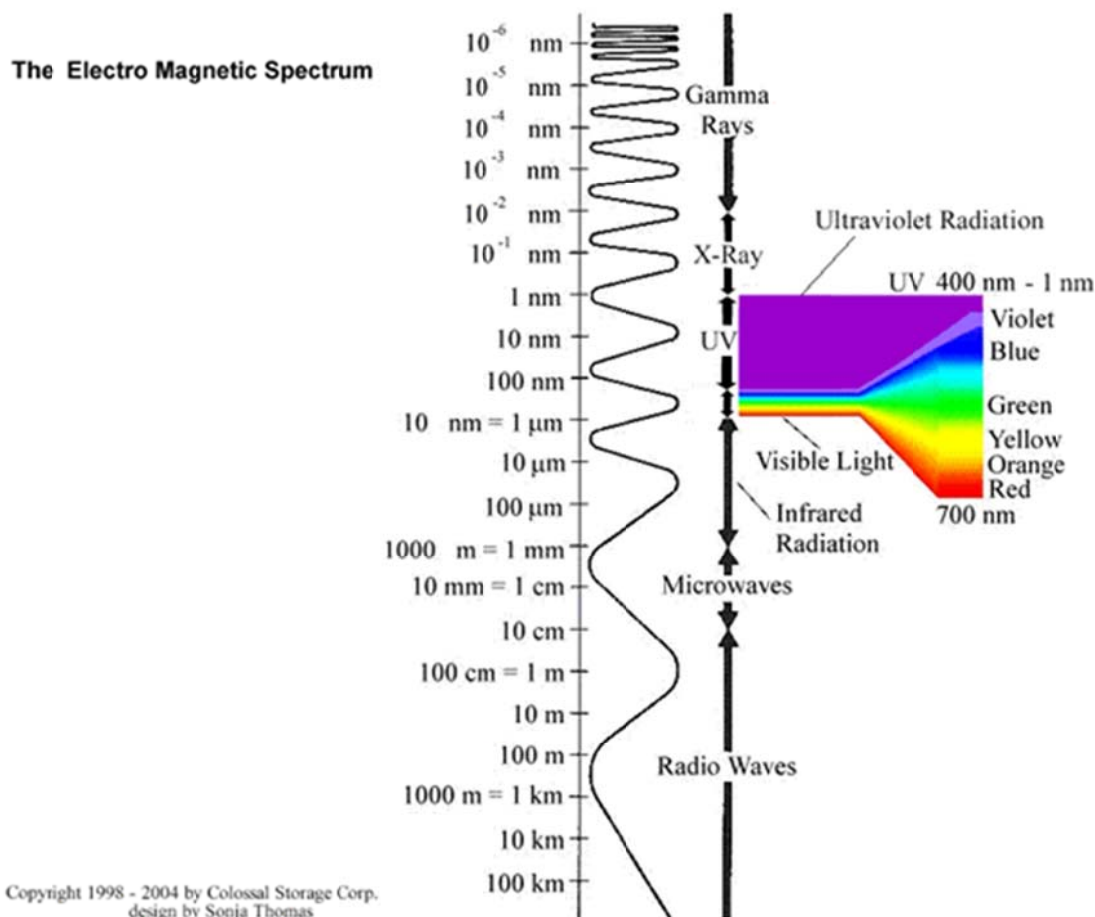


Figura. 1.5. Espectro electromagnético

Los mecanismos ópticos, por lo general, se relacionan mucho más con una longitud de onda que con una determinada frecuencia, siendo así, resulta más conveniente utilizar como elemento descriptivo, la longitud de onda cuando se trabaja con luz a altas frecuencias como la transmitida en el caso de la fibra óptica.

En este espectro, las bandas de frecuencia donde las ondas poseen características comunes, son denominadas de manera genérica como espectro audible, espectro de radiofrecuencia, espectro visible, etc. Dentro de este último, es donde nos familiarizamos con la luz utilizada en los sistemas de transmisión de ondas luminosas, pero, pese a que muchas de las ondas se encuentran dentro de este espectro, no todas forman parte de la luz visible, por tanto, los colores individuales son determinados por la frecuencia de la onda luminosa.

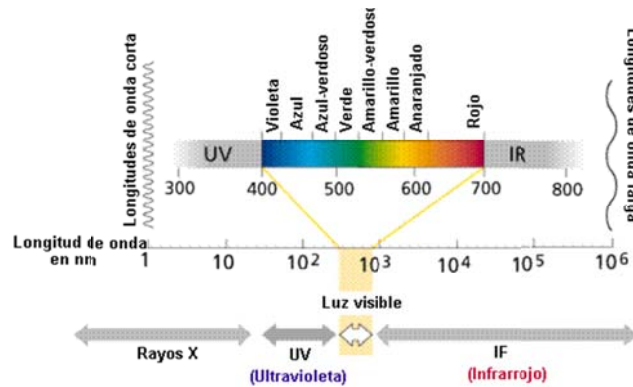


Figura. 1.6. Espectro visible

Las radiaciones infrarrojas y ultravioletas frecuentemente se refieren como luz, aunque se encuentran fuera del rango de detección del ojo humano. Los dispositivos empleados en aplicaciones optoelectrónicas funcionan en la banda óptica del espectro electromagnético. La banda del espectro óptico se divide en:

- Ultravioleta. Longitudes de onda entre 0.6nm y 380 nm.
- Espectro Visible. Longitudes de onda a las que es sensible el ojo humano. Corresponde al margen de longitudes de onda entre 350nm y 750 nm.
- Infrarrojo. Longitudes de onda entre 750 nmy 1600 nm.

En el ámbito de las comunicaciones ópticas, estos sistemas utilizan parte de la banda infrarroja más cercana al espectro visible. Dentro de estos parámetros, existen varias ventanas de trabajo a diferentes longitudes de onda que han sido seleccionadas de acuerdo a la respuesta en atenuación que sufre la señal luminosa.

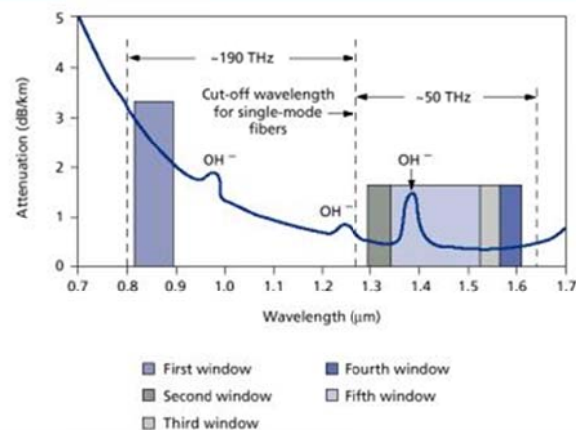


Figura. 1.7. Atenuación por longitud de onda en fibra óptica

La primera ventana corresponde a los 850 nm. Posteriormente se utilizó una segunda ventana, a 1300 nm, donde se obtenían atenuaciones más bajas pero a costos relativamente mayores ya que utilizaban una tecnología más cara. Luego se evoluciona a la tercera ventana, 1550 nm, con atenuaciones más bajas y anchos de banda mayores.

1.6 FIBRA OPTICA

La fibra óptica es un pequeño filamento de vidrio, capaz de llevar información en forma de luz, y que sirve como medio de transmisión en sistemas de comunicaciones. Este elemento se utiliza ampliamente en el sector de las telecomunicaciones, ya que permite enviar un gran volumen de datos a velocidades mucho mayores que las soportadas por el cable de cobre o los sistemas inalámbricos, además de ser el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas.

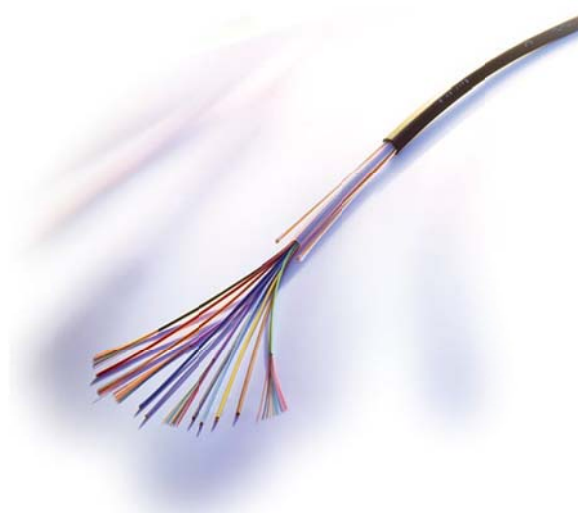


Figura. 1.8. Cable de fibra óptica

El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Los tres elementos básicos de la fibra óptica son el core, el cladding, y el recubrimiento primario. El core, es plástico o cristal y está compuesto por óxido de silicio y germanio con un alto índice de refracción; el cladding, es de un material similar al core

pero con un índice de refracción menor; y el recubrimiento primario que es de acrílico y que cumple la función de protección para el core.

Los tipos de fibra óptica se definen según la relación núcleo/revestimiento expresada en micras:

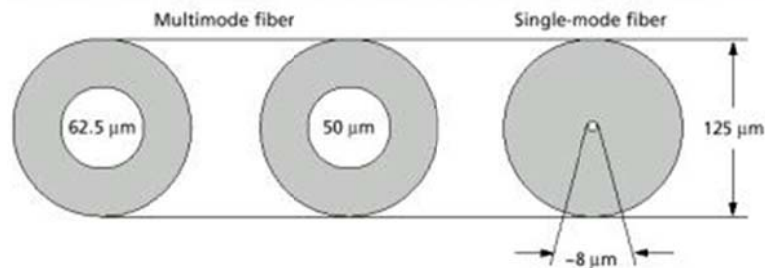


Figura. 1.9. Relación núcleo/revestimiento en fibra óptica.

Se tiene entonces dos tipos de fibra óptica: monomodo y multimodo.

1.6.1 Fibra Monomodo

Son fibras cuyo núcleo es mucho más pequeño que en el caso de las fibras multimodo, midiendo entre 8.3 y 10 micrones, lo cual permite el paso de un único haz de luz. Estas fibras tienen la capacidad de transmitir grandes tasas de bit y a grandes distancias, que en condiciones óptimas superan fácilmente los 100 Km.

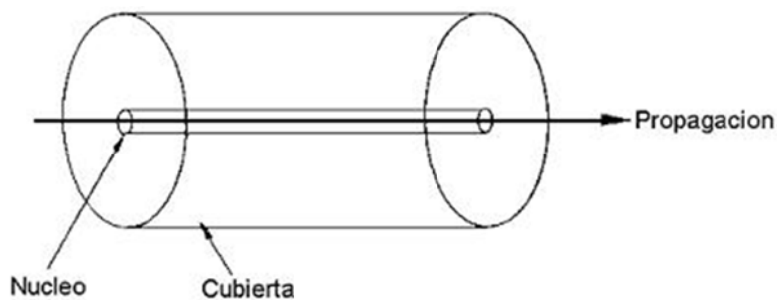


Figura. 1.10. Fibra óptica monomodo.

A diferencia de la transmisión por fibra multimodo, en las monomodo es necesaria la utilización de un laser de alta potencia y de cierta forma sofisticado, lo cual, inicialmente

era uno de los principales inconvenientes debido a su alto costo. En la actualidad, la creciente propagación de la fibra como medio de transmisión ha disminuido estas brechas ofreciendo precios mucho más competitivos.

Por otro lado, las fibras monomodo, no experimentan pérdidas significativas por dispersión ya que por el hilo circula un pulso de luz cada vez, esto incide directamente en la reducción de la atenuación que sufre el haz de luz.

Al ser un hilo destinado para cubrir grandes distancias, la cubierta protectora puede estar formada de materiales que lo resguarden contra la humedad, aplastamiento, roedores u otros riesgos del entorno.

1.6.2 Fibra Multimodo

Como característica distintiva de este tipo de fibra, la distancia máxima para enlaces es de 2 Km, lo cual representa una gran desventaja frente a la fibra monomodo; esto se debe a la presencia del fenómeno de la dispersión, ya que, al ser transmitidos varios pulsos de luz, las pérdidas introducidas al reflejarse en las paredes del núcleo son mayores a las presentes en la transmisión de un solo haz de luz. Para capacidades gigabit se tiene una distancia máxima recomendada de 550 metros.

Este tipo de fibra requiere de un haz de luz transmitido por un LED, lo cual abarata considerablemente los costos comparados con la fibra monomodo. Por sus características de instalación esta fibra es utilizada principalmente para tendidos de cableado estructurado donde las distancias entre puntos de comunicación son cortas, con aplicaciones típicas de voz, audio y video.

Más adelante se realizará un estudio más profundo de estos tipos de fibras en base a la selección del cable de acuerdo a las necesidades del enlace.

1.7 TECNOLOGÍAS PON

Una red óptica pasiva es una configuración de red que, conforme a sus características, permite proveer una gran variedad de servicios a varios clientes, pero mediante un único acceso común de fibra.

Consiste en la división de una señal óptica en varios medios ópticos manteniendo constante la información de dicha señal pero realizando una repartición de potencia de la misma. Esta división se realiza con un elemento pasivo, que es lo que caracteriza a este tipo de redes, denominado *splitter* óptico. En las redes PON (*Optical Passive Network*), no se involucra ningún elemento activo.

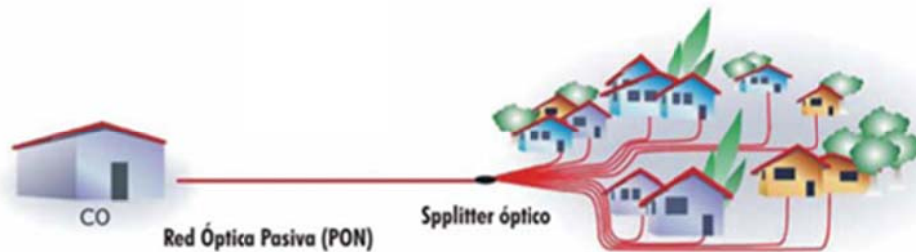


Figura. 1.11. Red óptica pasiva.

1.7.1 Introducción

El *splitter* divide el haz de luz entrante, y dependiendo de la dirección del mismo, lo distribuye hacia múltiples fibras, o los combina en la dirección opuesta dentro de una sola fibra, lo cual hace de esta red una configuración punto-multipunto.

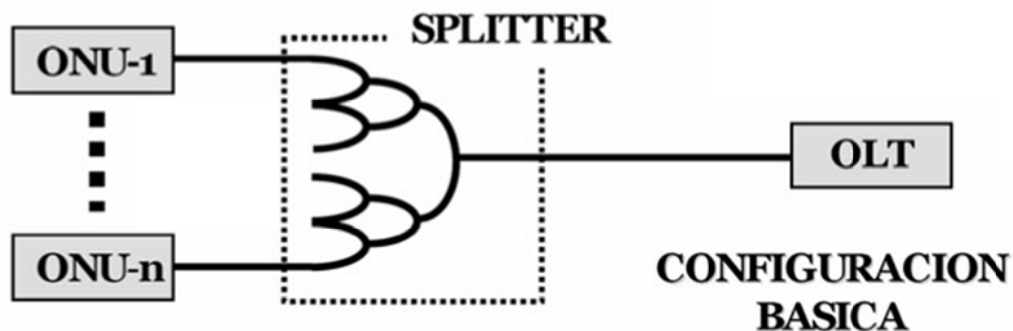


Figura. 1.12. Topología de una red óptica pasiva.

Todas las transmisiones de una red PON se realizan entre la terminal de línea óptica (OLT por sus siglas en inglés), ubicada en el nodo óptico o en la oficina central, y el usuario de la unidad de red óptica (ONU por sus siglas en inglés). Normalmente, la OLT se interconecta con una red de transporte que recoge el throughput de varias OLTs y lo enruta

hacia las centrales de red. En este tipo de redes, la ONU se encuentra en las premisas del usuario, lo cual supone una configuración FTTx dependiendo de la ubicación física de la misma. En los siguientes apartados se señalan los detalles de este tipo de configuración.

1.7.2 Estándares desarrollados

Durante la década de los 80's, y a raíz del esfuerzo conjunto de las compañías aéreas más grandes de la época por proveer de acceso óptico a sus redes, se da inicio a las primeras investigaciones de la tecnología PON, sin embargo, esto se mantuvo en fase de prueba debido a la baja demanda y a los altos costos que implicaba en la época el uso de esta tecnología. Es recién a partir de 1990 donde la necesidad de un acceso de banda ancha se vuelve imperativa.

En 1995, siete operadores de telecomunicaciones vislumbraron las posibilidades de las redes PON y fundaron la Red de Acceso Multiservicio (FSAN, por sus siglas en inglés) con el objetivo de unificar especificaciones para el acceso en banda ancha a los hogares. Esta organización, además, agrupa a más de 30 fabricantes de equipos. En 1998, esto dio lugar a la REC UIT-T G.902 y, en 1999, la ITU-T ha adoptado las nuevas especificaciones como los sistemas PON de 155 Mbit/s (REC UIT-T G.983.x). Esta fue nombrada como el PON de banda ancha o B-PON, más comúnmente conocida como A-PON ya que se basa en sistemas que usan el protocolo ATM.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) estableció el grupo de estudio *Ethernet in the First Mile* (EFM), que más tarde desarrolló el estándar IEEE 802.3ah o Ethernet PON. Este grupo se centró en la normalización Ethernet de 1 Gbit/s basado en un sistema simétrico PON. La primera versión de este estándar fue aprobada en el 2004.

Luego de la creación de la serie UIT-T G.983.x la UIT creó otro estándar, el G.984 conocido genéricamente como GPON, que posibilita la explotación de las redes PON a velocidades un poco mayores a 1 Gbit/s, con el fin de describir una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar la creciente demanda de un mayor ancho de banda.

En la actualidad, la IEEE propuso el estándar 10GEPON, el cual contempla una velocidad de transmisión en downstream de 10 Gbps. Para upstream existen dos versiones:

asimétrica con 1 Gbps y simétrica con velocidades de 10 Gbps. Este estándar trabaja con técnicas DWDM y busca, entre otras cosas, la ampliación del link budget. Las pruebas de campo se realizaron en el 2009 y se espera la implementación de la propuesta para el 2012.

1.7.3 Redes ópticas pasivas de banda ancha. BPON

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología A-PON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando, principalmente, un mayor ancho de banda.

Aparte de ser una mejora de A-PON también basa su arquitectura en dicha tecnología. Broadband-PON se define en varias revisiones al estándar ITU-T 983 de las cuales están desde la G.983.1 que es la original de esta tecnología, hasta la G.983.8. La especificación G.983.1 de B-PON define una arquitectura de forma simétrica, es decir, que la velocidad para la transmisión de datos en el canal de bajada es el mismo para el canal de subida, con velocidades de hasta 155 Mbps.

Esta norma fue revisada un tiempo después para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas asimétricas, conservando la misma velocidad de subida, pero obteniendo una significativa mejora de 622 Mbps en bajada.

En su última revisión, se modificó el estándar para transmisiones de 622 Mbps en arquitectura simétrica. Además, se desarrolló la tecnología para dar soporte al protocolo IP. Sin embargo, las redes BPON suponen costos altos y limitaciones técnicas.

1.7.4 Redes ópticas pasivas con capacidad gigabit. GPON

Las principales fortalezas de este tipo de redes son, su ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras, y una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en el protocolo IP.

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2.488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Estas velocidades,

dejan prácticamente obsoletos a los 622 Mbps de su tecnología predecesora, proyectando, por ende, una mayor escalabilidad y eficiencia.

Las velocidades más usadas por los proveedores de servicios que utilizan este tipo de tecnología son de 2.488Gbps para el canal de bajada y de 1.244 para el canal de subida. Esto proporciona velocidades muy altas para los abonados ya que si se dan las configuraciones apropiadas las velocidades pueden ser de hasta 100 Mbps a cada usuario.

Esta tecnología no solo ofrece mayores velocidades sino que también da la posibilidad a los proveedores de servicios de continuar brindando sus servicios tradicionales sin necesidad de tener que cambiar los equipos para que sean compatibles con esta tecnología. Esto se da gracias a que GPON usa su propio método de encapsulamiento (GEM o Método de Encapsulamiento GPON), el cual permite el soporte de todo tipo de servicios.

La arquitectura básica de las Redes GPON consta de un OLT (Línea Terminal Óptica) cerca del operador y las ONT (Red Terminal Óptica) cerca de los abonados con FTTH, lo cual supone una típica configuración de red pasiva.

1.7.5 Comparación de las tecnologías PON

Ambas arquitecturas, BPON y GPON fueron concebidas por el grupo FSAN, que es manejado por los operadores de telecomunicaciones más importantes. La mayoría de ellos han realizado grandes inversiones para proveer servicios TDM, en consecuencia, estas dos tecnologías fueron optimizadas para tráfico TDM, incluyendo sus estructuras y requerimientos de sincronización.

En BPON, un *upstreamframe* está formado por 53 *timeslots*, donde cada *timeslot* está conformado por una celda ATM y 3 bytes de *overhead*. Cuando 2 *timeslots* consecutivos son enviados a ONUs diferentes, esos 3 bytes ó, aproximadamente 154 ns de *overhead*, deben ser suficientes para apagar el laser en la primera ONU, encenderlo en la segunda ONU, y procesar el ajuste de ganancia y la sincronización de reloj en la OLT.

De manera similar, GPON maneja conteos de tiempo muy apretados. Por ejemplo, en GPON con 1.244 Gbps de tasa de línea, menos de 13ns son utilizados para el encendido

y el apagado del laser. Menores intervalos, requieren de un laser de alta velocidad en la ONU, lo cual resulta mucho más costoso.

Para reducir los tiempos necesarios para el ajuste de ganancia, BPON y GPON emplean la operación por nivelación de potencia. Es así como, la OLT da instrucciones a una ONU específica para ajustar su potencia de transmisión, como consecuencia, los niveles de señal recibida por la OLT desde diferentes ONUs son aproximadamente iguales.

BPON y GPON divide los paquetes en múltiples fragmentos. BPON usa AAL5 para dividir los paquetes en celdas al ser transmitidos y para re ensamblar la carga útil de las múltiples celdas en paquetes completos en el punto de recepción. GPON emplea el GEM para habilitar la fragmentación de paquetes. Este método usa un complicado algoritmo para delinear un tamaño variable de los segmentos GEM y reconstruir los paquetes en el dispositivo de recepción.

La figura 1.13, resume las principales diferencias entre estas tecnologías.

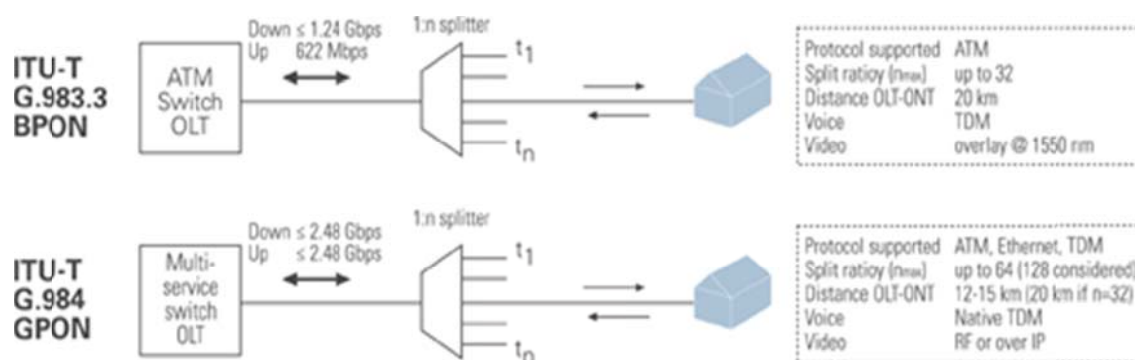


Figura. 1.13. Comparativa de las tecnologías BPON y GPON.

Son varias las operadoras que ha desplegado sistemas BPON, sin embargo, la ofrecida implementación en masa y la correspondiente reducción de costos, hasta la fecha no se han hecho realidad. No obstante, los sistemas GPON han ganado espacio importante en las redes de las empresas de telecomunicaciones debido al relativamente bajo costo de implementación y la alta producción de equipos, lo cual supone una mayor escalabilidad y por ende muchas más opciones de servicios.

1.7.6 Tecnologías Fiber To The X

Actualmente, el acrónimo FTTx es ampliamente usado para definir los distintos alcances de la fibra óptica, esta modalidad determina una amplia variedad de destinos que se alcanzan a través de este tipo de cable. Los principales, y desde los cuales se han realizado varias modificaciones, son: FTTN, FTTB, FTTH.

1.7.6.1 Fibertotheneode

En nuestro medio, este tipo de tendido plantea la presencia del cable de fibra óptica a manera de anillos metropolitanos, es decir llevando el cable desde la central de telecomunicaciones o datacenter, hasta los distintos nodos que distribuyen el servicio en cada zona de la ciudad.

Desde esta locación, se hace presente nuevamente el tendido de cable de cobre manteniendo las tecnologías xDSL.

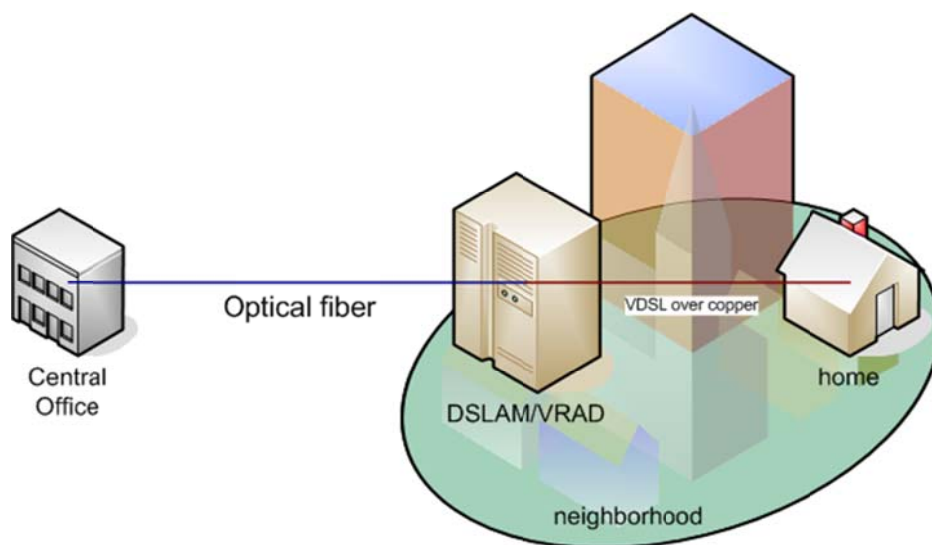


Figura. 1.14. Fibertotheneode

Este modo de empleo de la fibra óptica ha sido ampliamente utilizado por los proveedores de servicios de telecomunicaciones en el país, evolucionando hacia FTTb o FTTh como consecuencia de la disminución de costos en la fabricación del cable.

1.7.6.2 Fibertothebuilding

Típicamente, el cable de fibra óptica termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología xDSL sobre par de cobre. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor coste, reutilizando la infraestructura del abonado.

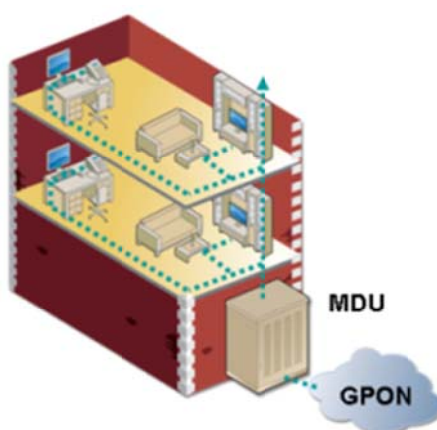


Figura. 1.15. Fibertothebuilding

1.7.6.3 Fibertothe home

La tecnología FTTx con más propagación en la actualidad, y la que promete mayores estándares de calidad en el servicio, es precisamente la fibra hasta el hogar. Este tendido involucra directamente tecnologías como GPON o BPON ya que permiten aprovechar al máximo las ventajas de escalabilidad que las mismas presentan.

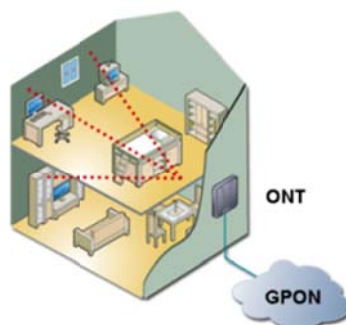


Figura. 1.16. Fibertothe home

El cable parte desde la central, pasando por el nodo y terminando directamente en la casa del abonado, donde típicamente, una ONT recibe el cable de planta externa para pasarlo a través de un patchcord de fibra a un equipo conversor de medio óptico a Ethernet en la sede del cliente.

Este tipo de tecnología aprovecha al máximo las ventajas de la fibra óptica en cuanto a velocidad, desempeño e instalación.

1.8 Las redes cobre vs las redes ópticas

La fibra óptica es el medio de transmisión de más rápido crecimiento en el mundo. Es esencialmente inmune a muchos factores que impactan de manera adversa al cable de cobre, como la interferencia electromagnética y de frecuencias de radio, los cruces de frecuencias, la impedancia, entre otros.

La fibra óptica es fácil de manejar. Instaladores con experiencia de fibra óptica saben que la fibra óptica no es frágil, tiene una gran capacidad de tensión en comparación con el cobre, inclusive el acero. Además, su reducido diámetro y su liviano peso la hacen fácil de manejar en espacios pequeños y resulta económica a largo plazo.

CAPITULO II

ESTUDIO DE LAS REDES DE FIBRA ÓPTICA

2.1 ELEMENTOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA

Las redes de fibra óptica constituyen el conjunto de todos los elementos (cables, herrajes, mangas, accesorios, etc.) que se encuentran fuera de los nodos, centrales o cuartos de equipos; a esta composición de equipamiento regularmente pasivo se la conoce como planta externa.

La planta externa es la base de todo sistema de telecomunicaciones ya que constituye el medio de transmisión. Es una de las inversiones más fuertes de las empresas de telecomunicaciones debido a las distancias a cubrir, y en algunos casos, puede constituir hasta el 70% del sistema completo.

Es el punto más crítico de un sistema de comunicaciones, ya que está expuesto a un sin número de factores externos (tránsito, accidentes, clima, descargas atmosféricas, etc.) los mismos que normalmente no afectan a los cuartos de equipos, pues estos se encuentran bajo ambientes rigurosamente controlados. Una falla en planta externa, y por ende en el medio de transmisión, puede implicar la caída completa de toda una plataforma de comunicaciones.

2.1.1 Topologías y nodos

2.1.1.1 Redes punto a punto

Esta consiste en realizar un enlace entre un punto A y un punto B directamente, y con equipos activos a cada extremo. De forma clásica, los tendidos de fibra óptica punto a punto han sido usados como enlace entre nodos, para construir redes troncales o anillos.

Un nodo se define como una ubicación física, regularmente en un edificio u oficina en el cual se ubican los equipos activos.



Figura. 2.1. Redes punto a punto

2.1.1.2 Redes punto a multipunto

Este tipo de topología consiste en realizar un enlace desde un punto A hacia varios puntos de destino. En ambos extremos se cuenta con equipos activos, pero a diferencia de las demás topologías, aparece un elemento pasivo intermedio en planta externa, el mismo que realiza la división. Este tipo de redes son utilizadas para accesos con tecnologías PON o en televisión y radio. Utiliza un solo medio de transmisión y un solo canal o puerto en el equipo principal, lo cual representa una gran ventaja frente a los enlaces punto a punto.

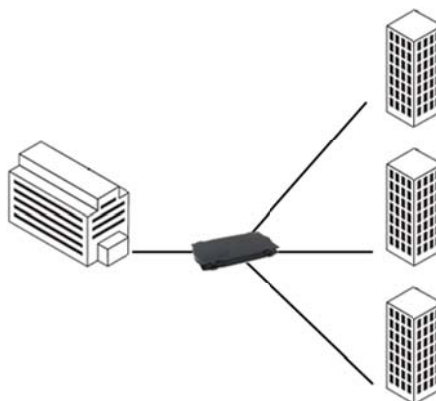


Figura. 2.2. Redes punto a multipunto

2.1.1.3 Redes en estrella

Consiste en conectar un nodo principal con varios equipos terminales, utilizando un medio de transmisión para cada enlace, es decir, un puerto asignado a cada uno en el equipo del nodo. Ejemplos típicos de este tipo de conexiones son los sistemas de cableado estructurado y los accesos de última milla punto a punto.

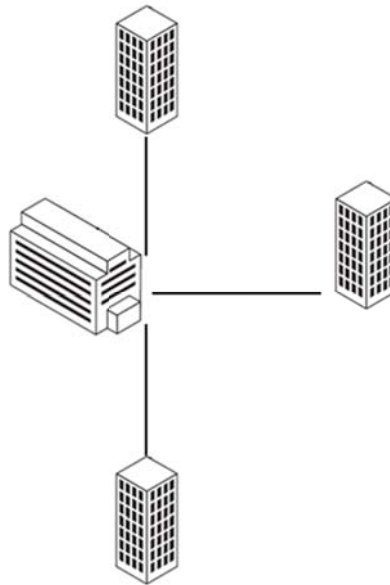


Figura. 2.3. Redes en estrella

2.1.1.4 Redes anilladas

Una conexión en anillo se refiere a una conexión punto a punto que cuenta con un enlace redundante o backup. Los mismos deben tener un recorrido geográfico distinto y entre más separadas sean las rutas, más eficaz será el respaldo en caso de una caída del enlace primario.

Estos enlaces al igual que en la topología en estrella corresponden de manera individual a un puerto en el equipo activo. Debido al alto costo de implementación, existen acuerdos entre empresas prestadoras de servicio donde la red del uno constituye el backup del otro.

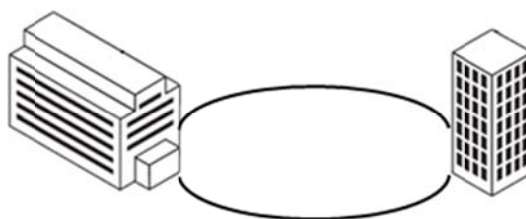


Figura. 2.4. Redes anilladas

2.1.2 Tipos de redes

2.1.2.1 Red aérea

Es aquella que sigue su recorrido por postes. Usa cables específicos para esta aplicación tales como el cable aéreo tipo figura 8 o el ADSS. Puede usarse en zonas urbanas, ciudades o para enlaces entre zonas rurales.

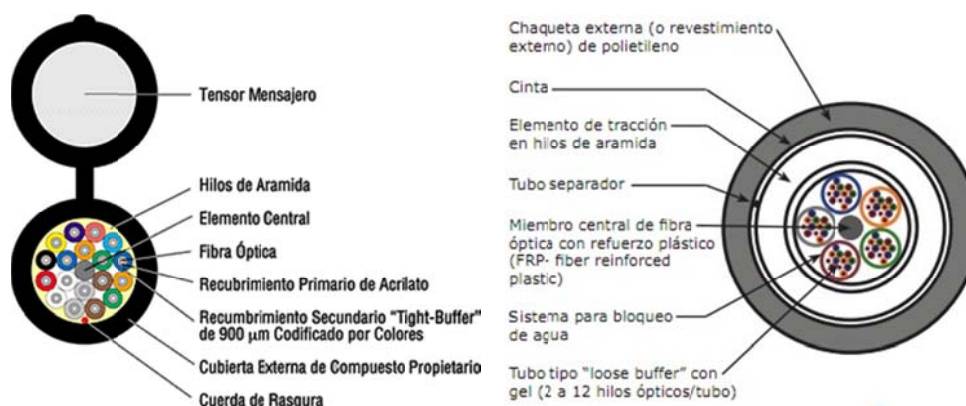


Figura. 2.5. Cables para redes aéreas, figura 8 y ADSS

Actualmente, es el tipo de red más utilizado por las operadoras del país debido a su relativa facilidad de instalación y a la relación de costos de elementos comparada con los demás tipos de redes. De acuerdo a la ordenanza municipal LMU40, motivo de análisis de este documento, en gran parte de la ciudad de Quito deberán migrarse todos los tendidos aéreos hacia redes canalizadas ubicadas de manera estratégica a lo largo de la ciudad. Esta información será detallada en el próximo capítulo.

2.1.2.2 Red canalizada

Es aquella que sigue su recorrido por una canalización preexistente y las interconexiones se dan en pozos de revisión. Usa cables específicos para esta aplicación tales como el cable armado y se usa regularmente en zonas urbanas o ciudades.



Figura. 2.6. Red canalizada

La colocación de los ductos para el paso de cables se realiza a 1.5m de la superficie de acuerdo a normas preestablecidas. En la ciudad de Quito, se está utilizando un sistema de triductos en las zonas de mayor demanda, el mismo que está compuesto por una tubería de PVC de 4" y triductos HDPE de 34mm de diámetro interior y 40mm de diámetro exterior.

2.1.2.3 Red directamente enterrada

En este tipo de redes la tubería de PVC va directamente enterrada en una zanja, y a diferencia de las redes canalizadas, implica el uso de marcadores electrónicos, cámaras de paso y cinta de advertencia. Se usa fibra armada y para el paso de la misma se utilizan técnicas como el soplado.

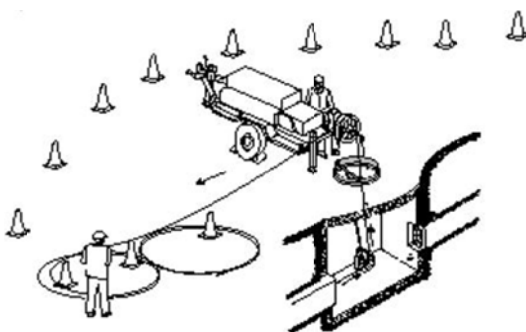


Figura. 2.7. Procedimiento red directamente enterrada

Existen casos en los que se entierra directamente al cable de fibra óptica para bajar costos, esto suele usarse en el oriente o para tramos cortos.

El procedimiento utilizado en este tipo de tendidos consiste, entre otras cosas, en colocar una cama de arena para los cables o el ducto y varias capas de arena y tierra fina para tener una compactación eficaz y no afectar al cable de fibra. Como es obvio, el mantenimiento de este tipo de tendidos es sumamente complejo, por lo que se debe garantizar su correcto desempeño por al menos 30 años.

2.1.3 Cables de fibra óptica

2.1.3.1 StrandedLooseTube

Se refiere a la composición de hilos de fibra óptica dentro de un buffer plástico de manera holgada (loosetube). Los buffers se encuentran alrededor de un elemento central y manejan una alta capacidad de hilos de fibra óptica (12 hilos por buffer) por lo cual son, generalmente, utilizados para tendidos troncales.

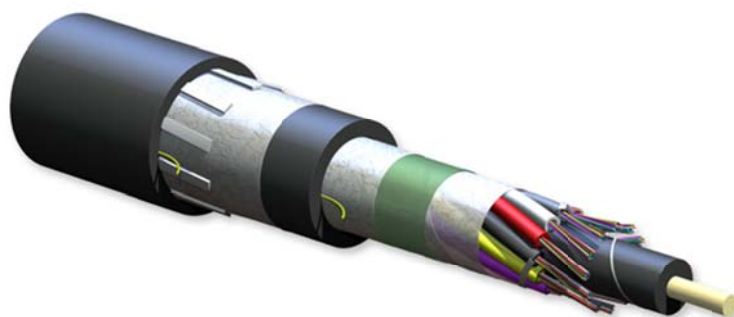


Figura. 2.8. Cable de fibra óptica StrandedLooseTube

2.1.3.2 Central LooseTube

La distribución de los hilos de fibra óptica es similar al StrandedLooseTube, sin embargo, este tipo de cables contiene un solo buffer central y por esta razón manejan bajas capacidades y son recomendados para redes de acometidas.



Figura. 2.9. Cable de fibra óptica Central LooseTube

2.1.3.3 Cables aéreos

Para el tendido de fibra óptica aérea existen 2 tipos de cables que constituyen los más utilizados en la actualidad debido a su versatilidad, ADSS y figura 8.

El cable auto soportado completamente dieléctrico o ADSS por sus sigla en inglés (AllDielectricSelfSupported) se caracteriza por no tener ni una sola parte metálica lo que significa prescindir de un cable mensajero, constituyendo de este modo una excelente solución para distancias largas tal como travesías de ríos y carreteras ofreciendo ventajas en costo y facilidad de instalación.

Estos cables ópticos son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos ya que carece de elementos metálicos. Tiene un revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sustentación externo no metálico. Lo cual proporciona la necesaria resistencia a la tracción.

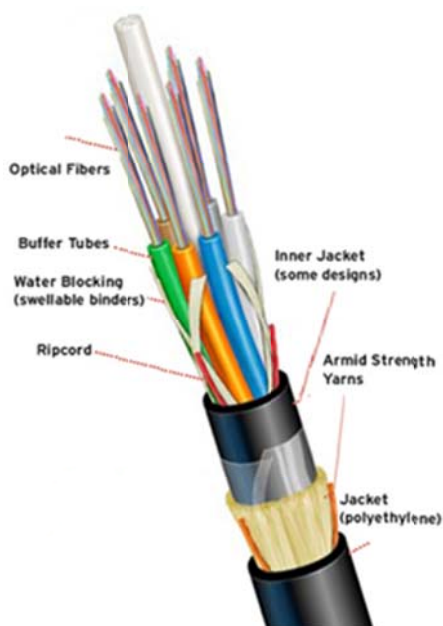


Figura. 2.10. Cable de fibra óptica ADSS

El elemento que permite el auto soporte de este tipo de cable es la aramida, cuyas cadenas moleculares están altamente orientadas en el eje longitudinal, lo que permite aprovechar la fuerza de sus uniones químicas para usos industriales como la construcción de un cable de fibra óptica.

Por otra parte, el cable figura 8 toma su nombre debido a su forma física, a diferencia del ADSS, este cable contiene un núcleo de acero pegado al cable que está cubierto por la misma chaqueta del cable principal.

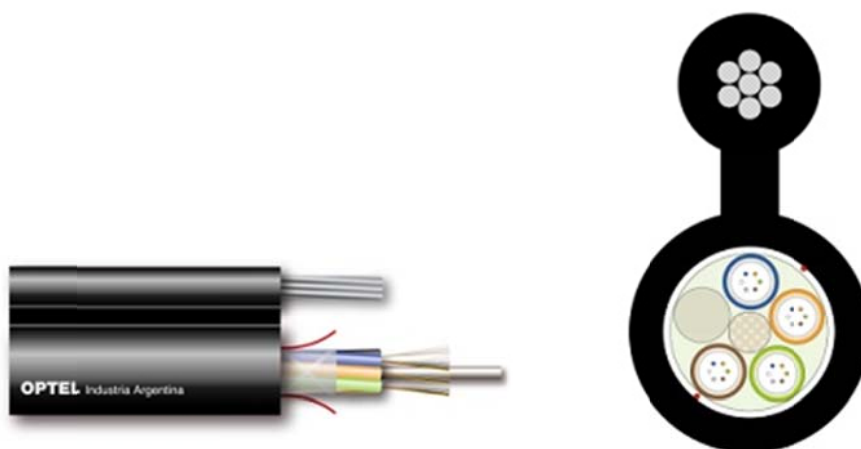


Figura. 2.11. Cable de fibra óptica Figura 8

En ambos tipos de cables es necesario considerar el SPAN, que es la distancia máxima para el tendido entre postes y que va determinado por las características físicas del elemento de fuerza, ya sea la aramida o el mensajero. Este tipo de cables puede ser stranded o central loosetube.

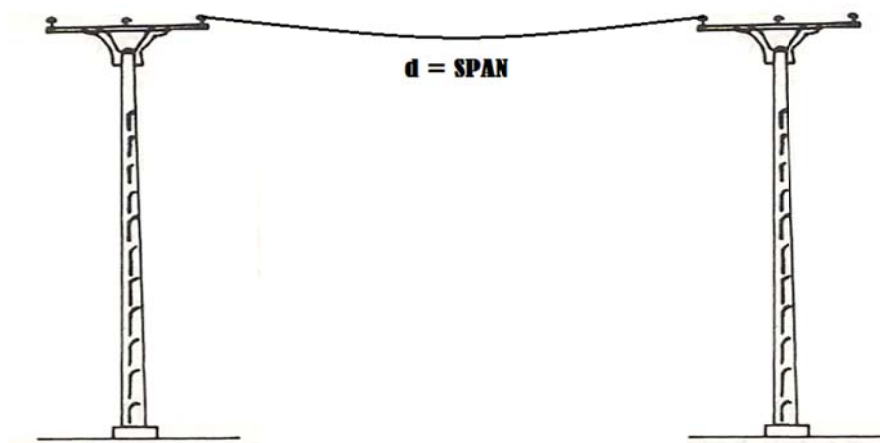


Figura. 2.12. SPAN fibra óptica

2.1.3.4 Cables de uso específico

Se ha denominado de esta manera a los cables utilizados en circunstancias acordes a sus características físicas, entre estos, dos tipos en particular que serán considerados dentro del diseño posterior: cables canalizados y cable plano.

El primero se caracteriza por una armadura metálica para protección contra roedores y resistencia mecánica. En este tipo de cables se debe tener en cuenta la resistencia a la tensión, normalmente 2700N.

El cable plano por su parte, se caracteriza por su fácil manipuleo debido a su forma plana y ovalada, lo cual le permite ser comúnmente utilizado en acometidas. Debido a su diseño, maneja bajas capacidades y suele ser de tipo central loosetube.

2.1.4 Ductos, biductos, triductos

En su forma de presentación más simple, los ductos son tubos de polietileno de alta densidad que se caracterizan por tener una superficie exterior lisa, con estrías internas

longitudinales que facilitan la instalación del cable de fibra óptica, al disminuir la superficie de contacto se facilita el paso del cable en el momento de la instalación.

Los biductos y triductos están formados por dos y tres tubos, respectivamente, de iguales dimensiones unidos entre sí por medio de una membrana, presentándose dispuestos paralelamente en un plano.

Las características óptimas de estos elementos son: peso reducido, alta resistencia a fisuras, bajo factor de fricción, baja conductibilidad eléctrica, alta resistencia química, flexibilidad, fácil manipuleo e instalación.

2.1.5 Rack de equipos

Típicamente se utiliza para albergar los paneles de interconexión de fibra (ODF), bandejas de empalme, elementos y cables de patcheo. Es un elemento con estructura metálica de apariencia similar a un armario con varias alternativas de diseño: abierto, cerrado, abatible, para montaje sobre pared etc.

Alberga el único componente interno de interconexión entre el cable de planta externa y los equipos activos, el panel de distribución de fibra u ODF por sus siglas en inglés. Suele ser una caja metálica que posee uno o varios puertos de ingreso de cables, y un área de patcheo. Dentro del ODF se colocan las bandejas de empalme en donde se albergan las fusiones de fibra, son de capacidades variables y así mismo pueden tener varios tipos de adaptadores.

Con el fin de estandarizar o establecer un patrón de características importantes a considerar en el diseño de una red de fibra óptica a nivel de cuarto de equipos o nodos, se han establecido los siguientes parámetros:

1. Ingreso de cables: lateral, posterior.
2. Número de puertos de cable y diámetro.
3. Tipo de bandeja: fija, deslizable.
4. Tipo de patcheo: transversal, frontal, inclinado.
5. Número de puertos ópticos.
6. Capacidad de bandejas.
7. Salida de patchcords: frontal, lateral.

8. Tipo de montaje: rack, pared.
9. Accesorios.
10. Tipos de conector.

2.1.6 Herrajes

Son accesorios de acero galvanizado cuya principal función es sujetar el cable al poste. Pueden ser de paso o terminales. Los herrajes de paso son aquellos usados cuando únicamente se requiere sujetar el cable al poste, en tramos cortos o en tramos rectos; por otro lado, los herrajes terminales, son aquellos usados cuando el tramo de cable sujetado es muy grande o cuando existe un cambio de dirección muy pronunciado.

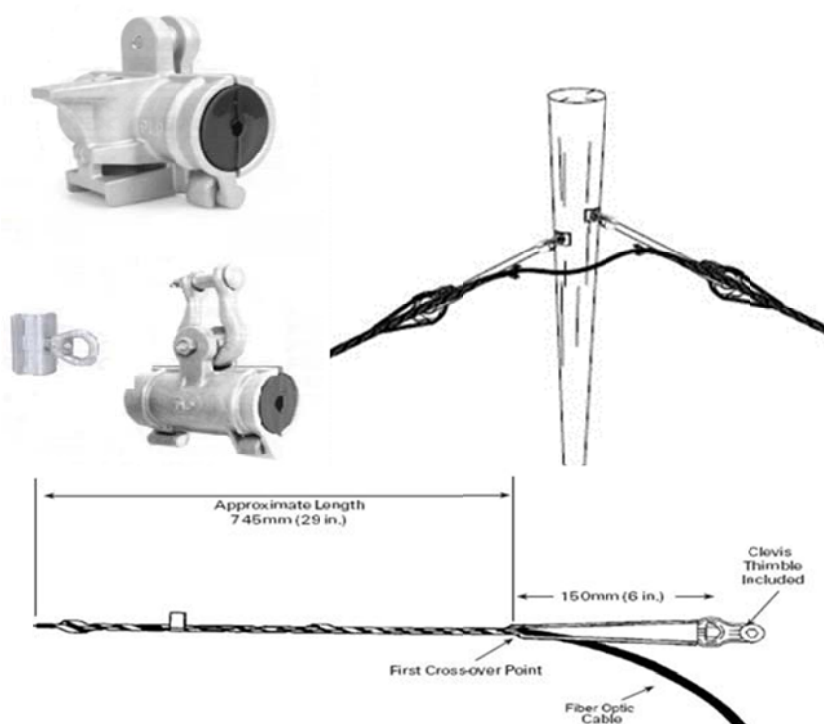


Figura. 2.13. Herrajes para fibra óptica

2.1.7 Cajas Terminales

Las Cajas Terminales son utilizadas en el empalme de los cables de fibra óptica de pequeña capacidad, o bien en las terminaciones y conexiones de las fibras con los pigtaills destinada para el almacenamiento del cableado y la conexión directa de los cables en los conectores.



Figura. 2.14. Caja terminal para fibra óptica

Generalmente este elemento permite la fijación contra la pared y viene dado en base a características como: material, entrada de cables, tipo de conectores y medidas del elemento de acuerdo a la disponibilidad de espacio en el lugar de instalación.

2.1.8 Tipos de adaptadores y conectores

Los conectores ópticos constituyen uno de los elementos más importantes dentro de la gama de dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico. En conjunto con los adaptadores, su función es permitir el alineamiento y unión temporal repetitiva, de dos o más fibras ópticas entre sí y en las mejores condiciones ópticas posibles. El adaptador es un dispositivo mecánico que hace posible el correcto enfrentamiento de dos conectores de idéntico o distinto tipo.

Dentro de una amplia clasificación de conectores, debido a la gran cantidad de aplicaciones que se maneja a través de fibra óptica, se señalan a continuación los más frecuentemente utilizados:

2.1.8.1 Conectores ST

Los conectores ST fueron creados en los años 80 por AT&T y deriva del inglés “StraightTip”, tienen un diseño tipo bayoneta que permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador. Su mecanismo de acoplamiento tipo “Empuja y Gira” asegura que el conector no tenga deslizamientos y desconexiones. El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos rotatorios. El ST ha sido el conector más popular en las redes de área local (LAN) por su buena relación calidad-precio.



Figura. 2.15. Conectores ST para fibra óptica

2.1.8.2 Conectores SC

Los conectores SC, tienen un diseño versátil que permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador. Su mecanismo de acoplamiento tipo “PushPull” lo asegura al adaptador de manera sencilla. El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos. El conector SC es el más popular tanto en LAN como en redes de transporte: operadoras telefonías, CATV.



Figura. 2.16. Conectores SC para fibra óptica

2.1.8.3 Conectores FC

Los conectores FC fueron creados en los años 80 por NTT por su nombre en inglés “FiberConnection”, tienen un diseño versátil tipo rosca que permite asegurar y alinear el conector de manera firme en el adaptador. Su mecanismo de acoplamiento tipo Rosca asegura que el conector no tenga deslizamientos o desconexiones. El cuerpo del conector sujeta la férula, ofreciendo una mejor alineación y previniendo movimientos.



Figura. 2.17. Conectores FC para fibra óptica

2.1.8.4 Conectores LC

Desarrollados en 1997 por Lucent Technologies, los conectores LC tienen un aspecto exterior similar a un pequeño SC, con el tamaño de un RJ 45 y se presentan en formato Simplex o Dúplex, diferenciándose externamente los de tipo SM de los de tipo MM por un código de colores. El LC es un conector de alta densidad diseñado para su uso en todo tipo de entornos: LAN, operadoras de telefonías, CATV.



Figura. 2.18. Conectores LC para fibra óptica

2.1.9 Formas de conexión de fibra

Una conexión o unión permanente entre dos fibras se conoce en inglés como fibersplice. Se utiliza para alargar conexiones, partiendo de fibras no suficientemente largas, cuando no es necesario ni amplificar la señal ni conectar y desconectar repetidamente en este punto. Hay dos tipos de uniones permanentes, que son la unión por fusión o soldadura y la unión mecánica.

La soldadura se efectúa mediante el calentamiento localizado de dos extremos prealineados consiguiendo que se reblandezcan y se fusionen, dejándolos después enfriar. Las uniones mecánicas consisten en mantener las fibras alineadas sin cambiar nada en ellas, puede conseguirse por varios métodos que incluyen el uso de tubos en los que se introducen las fibras o ranuras en forma de V en las que se encastran los extremos de las fibras. Todas estas técnicas buscan optimizar el comportamiento de la unión a través de una correcta preparación del extremo de la fibra como del alineamiento entre ellos.

2.1.9.1 Unión por fusión

La soldadura de fibras implica el calentamiento hasta su punto de fusión de los extremos de dos fibras preparadas con la aplicación de suficiente presión axial como para que se unan. Es pues imprescindible que las fibras desnudas (sin capas protectoras) estén correctamente posicionadas y alineadas para que en el punto de fusión haya continuidad y no errores de alineamiento. Los sistemas de calentamiento pueden ser varios, aunque los más usados son los arcos voltaicos. Esta técnica ofrece la ventaja de ser un método de calentamiento puntual fácil de controlar.

La técnica, que se aprecia en la figura 2.19, ilustra los pasos a seguir en este proceso. En la parte (a) de la figura se aprecia el método de alineamiento mediante microposicionadores, mientras que en la parte (b) se observa que inicialmente se acercan los extremos de las fibras (que no tienen que estar bien terminados), el segundo paso es la prefusión, tras la cual los extremos de las fibras quedan adecuadamente preparados para la soldadura, después se acercan las fibras y haciendo presión entre ellas se descarga de nuevo el arco produciéndose así la soldadura. Por este método se han conseguido atenuaciones menores de 0.1dB.

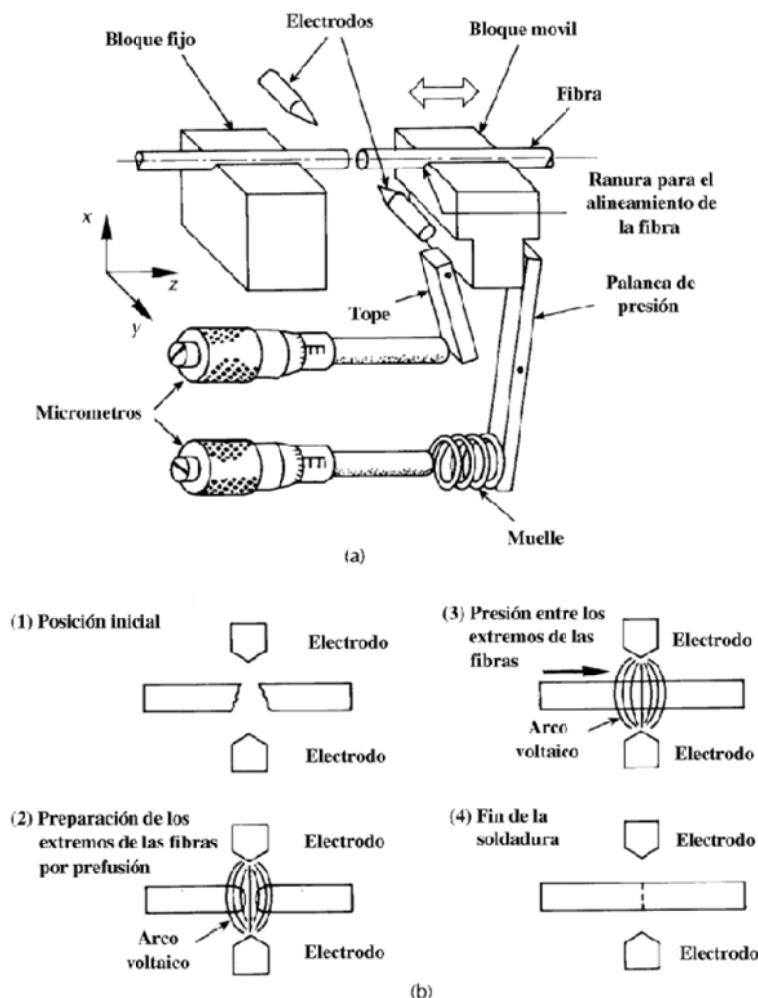


Figura. 2.19. Fusión de fibra óptica

2.1.9.2 Unión mecánica

Hay varios métodos para contactos fijos sin soldadura. Un método bastante común es la utilización de un capilar que puede ser cilíndrico o rectangular (figura 2.20) la idea introducir la fibra en el capilar de forma que el alineamiento esté forzado y rellenar el capilar con un adhesivo transparente (suele ser resina) con el índice de refracción del núcleo de la fibra. Se han conseguido con este método atenuaciones medias de 0.1dB en fibras tanto multimodo como monomodo. El problema en los cilindros aparece en la tolerancia de los capilares utilizados y debido a ello en productos comerciales las pérdidas suelen estar alrededor de 0.5dB. Para solucionarlo se utilizan los cuadrados en estos se han conseguido de forma comercial pérdidas menores de 0.1dB.

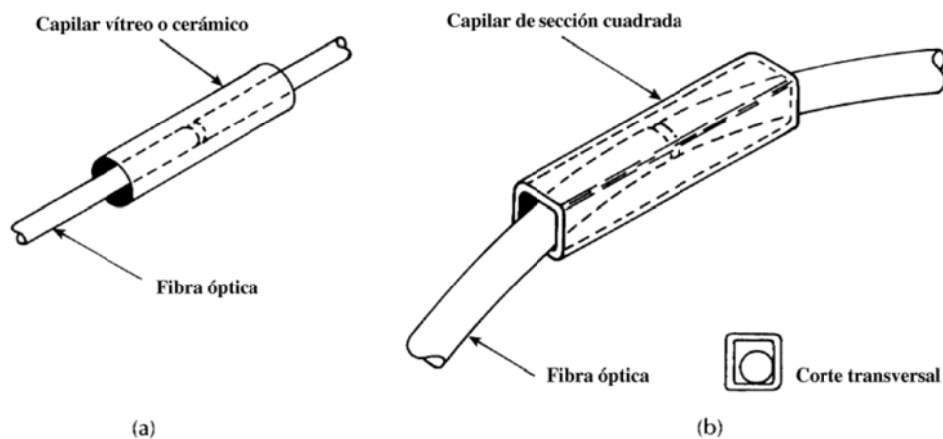


Figura. 2.20. Fusión de fibra óptica

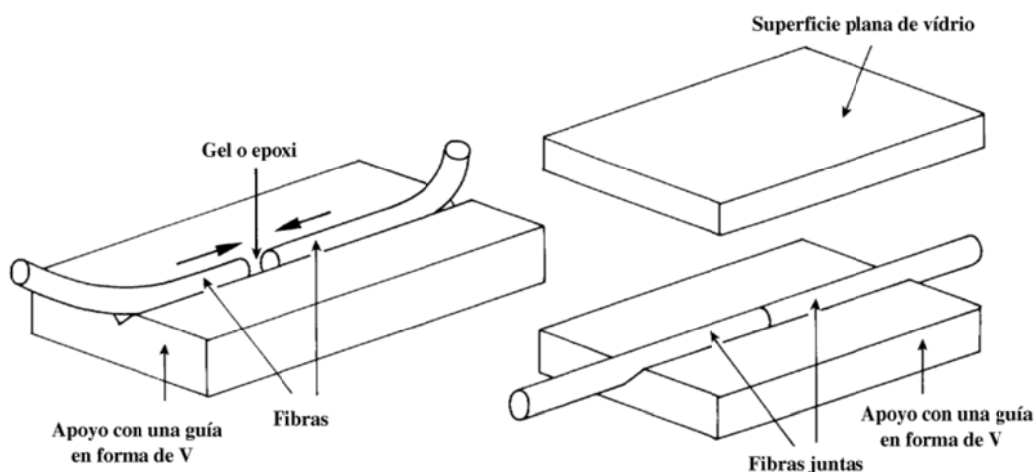


Figura. 2.21. Fusión de fibra óptica

Otro método es el de las ranuras en forma de V (*V-grooves*) que pueden verse en la figura 2.21. En este caso las fibras se colocan en la ranura, se ponen lo más cerca posible, se deposita el adhesivo y posteriormente se presionan mediante una superficie plana fijando la estructura y así se consiguen atenuaciones de 0.1dB.

Hay otros métodos que consiguen para usuarios no expertos uniones con pérdidas menores de 0.03dB y suelen ser usados en conexiones comerciales y que consiste en unos conectores asimétricos que mediante rotación y un adecuado sistema de medida encuentran el punto de unión con menos pérdidas y se sellan finalmente mediante un muelle. Este método conocido como de conexión rotatoria es el más utilizado en la actualidad.

2.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA

2.2.1 Tendido de fibra óptica

2.2.1.1 Tendido submarino

Actualmente, existe una gran cantidad de sistemas de cableado submarino de fibra óptica instalados en todos los océanos. Estos sistemas submarinos se componen de cables de fibra óptica interconectados, a través de repetidores, que amplifican las señales y permiten alcanzar distancias de hasta nueve mil kilómetros por tramo. Asimismo, resisten las inclemencias de la temperatura, salinidad y humedad, así como las presiones del agua, ya que se encuentran instalados a gran profundidad.

Se conectan a sistemas de transmisión y recepción, integrados por moduladores y multiplexores ópticos que constituyen los sistemas de observación y control, los cuales, en conjunto con los amplificadores empalmados al cable cada 30 o 50km garantizan la integridad de las señales que viajan por las fibras ópticas para permitir la telecomunicación. Estos cables necesitan constante mantenimiento y supervisión.

Una de las ventajas importantes de la fibra óptica colocada dentro del mar, con respecto a la comunicación vía satélite, es que es más barata e implica menor riesgo de interrumpir el enlace por razones climáticas como tormentas. Además, el retardo de transmisión es considerablemente menor por lo que es ideal para transmisión de telefonía internacional.

El proceso del tendido de la red submarina es complejo y largo. Como primera instancia, antes de llevar a cabo la instalación, se realiza un estudio en el cual se traza la ruta del cableado submarino y se especifican los requisitos tecnológicos. Posteriormente, se relevan los datos geofísicos y en base a ellos se define la ruta real a utilizar. En esta fase se especifican los tipos de cable submarino, empalmes, estructuras y demás equipamiento, incluido el mecanismo de transmisión electrónica.

La instalación del tendido de fibra óptica es llevada a cabo por dos barcos, que después de partir de diferentes áreas geográficas, van desenrollando y sumergiendo el cable, hasta que se encuentran en un punto determinado del océano, es ahí donde se realiza la

conexión de los dos puntos. Finalmente, después de comprobar que el enlace funciona correctamente, sumergen losdos extremos de los cables conectados.

Una vez realizada la instalación será necesario realizar operaciones demantenimiento permanentes, utilizando vehículos de operación remota (ROV),que trabajan a grandes profundidades. El cable submarino de fibra óptica debe ser resistente y liviano.

2.2.1.2 Tendido aéreo

Existen diversos métodos de tendido de cable de fibra óptica aéreo que dependen principalmente de factores como: características del cable, tipo de infraestructura de acceso y de distribución, características geográficas del sector; los mismo se agrupan de la siguiente forma: método de enrollado retractable fijo, método de enrollado móvil y método de tendido manual.

En cualquiera de los dos primeros métodos se instalará un cable guía que se utilizará como rienda o mensajero, por este motivo es necesario asegurarse que todos los cables para el soporte de postes en la esquinas y los extremos terminales se instalen y tensionen antes del tendido del cable.

Con el método manual, es necesario contar con personal técnico que tenga la experiencia y capacidad de realizar el tendido del cable, la colocación de los accesorios de sujeción y la ejecución de las maniobras de instalación con las debidas seguridades del caso tanto para el personal como para el cable de fibra óptica.

Por cualquier método escogido para la instalación, se deberá considerar factores que pueden afectar el proceso de instalación y que deberán ser identificados antes, durante y después de la instalación para evitar inconvenientes técnicos.

2.2.1.3 Tendido terrestre

Para hacer un tendido terrestre pueden abrirse zanjas a cielo abierto, o bien utilizar tecnologías más complejas como trenchless de tunelería guiada. El sistema clásico de

tendido a cielo abierto trae numerosas molestias a los ciudadanos (ruidos molestos, veredas abiertas, suciedad) por lo que se recomienda que no se use en centros urbanos.

El sistema trenchless, por otro lado, es capaz de trazar túneles mediante perforaciones direccionales, evitando tener que abrir las veredas. Esto permite realizar tanto el tendido como el mantenimiento de los tubos, sin tener que abrir todo el suelo.

La variación de precios se produce básicamente de acuerdo a dos ítems: el diámetro de los ductos (cuando es muy grande, la tunelera debería trabajar más tiempo para ensanchar el túnel) y la cantidad de metros, que requeriría mayor costo de reposicionamiento de equipos.

Una vez tendidos los ductos, sería necesario colocar la fibra dentro de ellas. La técnica tradicional solía ser la de tirar de la fibra, lo cual implica una alta fricción, especialmente en las curvas, que se reduce con la utilización de un lubricante.

Para evitar los altos niveles de tensión sobre el cable, se puede utilizar la técnica de jetting o soplado, en la que se genera una corriente de aire de alta presión que va empujando al cable a medida que se lo va insertando. De esta manera se evitan las fricciones mediante el flujo de aire, y se pueden realizar instalaciones de mayores distancias.

2.2.2 Cruces especiales

Antes de definir un cruce especial es necesario considerar lo siguiente:

- a. El tendido de cable de fibra óptica a través de vanos cortos se realiza desenrollando paulatinamente el cable de la bobina sobre el trayecto a instalar, para luego subir el cable al poste, templarlo y finalmente fijarlo a los postes con los herrajes respectivos;
- b. El tendido sobre vanos largos se efectúa desenrollando todo el cable de la bobina utilizando métodos de almacenamiento como la figura 8 para luego sujetarlo a una manila de guía que será llevada a través de poleas temporales, las mismas que llevarán el cable de fibra óptica sobre la postera a través de las poleas instaladas para luego ser fijado con los herrajes respectivos hasta culminar el trayecto.

Se considera un cruce especial un trayecto del recorrido de planta externa en el cual es necesario realizar un cambio de medio, es decir, pasar de un tendido aéreo sobre postera existente haciaductería previamente instalada a través de una bajante, y luego de la misma volver al medio inicial para continuar con el recorrido. En este tipo de cruces es necesario desenrollar toda la fibra remanente en el carrete hasta obtener la punta, y luego pasar el cable por el cruce especial y continuar con el regado del cable de fibra óptica, considerando que al atravesar el cruce es necesario enrollar el cable en forma de 8 en el piso, más no volverlo a ingresar al carrete ya que podría ocasionar rupturas en los hilos de fibra. En condiciones ideales, al inicio y término de un cruce especial existe una manga de conexión que permite fusionar los hilos del tendido aéreo con los hilos del cableado previamente instalado en las ducterías, sin embargo, debido a los costos de fusión y el tiempo que el procedimiento duraría en una instalación de cable de alta capacidad, es recomendable utilizar el proceso antes descrito.

2.2.3 OTDR

El OTDR es el instrumento más adecuado para la caracterización de fibras ópticas en el dominio del tiempo. Es una aparato que puede evaluar las propiedades de una fibra o de un enlace completo. En la práctica, puede detectar de forma rápida y eficiente pérdidas, fallas y la distancia entre sucesos. El OTDR usa las propiedades de dispersión de una fibra para determinar la atenuación total. Un pulso de luz de duración muy corte es lanzado a través de la fibra y una porción de ese pulso que viaja en dirección a la salida de la fibra se dispersa y es capturado por la fibra en la dirección inversa. El pulso incidente se atenúa mientras viaja en dirección al final de la fibra. De la misma manera, el pulso viajando en la dirección opuesta, se atenúa en igual magnitud. El pulso resultante se atenúa el doble sobre cualquier distancia de fibra, ya que ha viajado ida y vuelta. La traza del OTDR permite analizar la atenuación del enlace en función de la distancia. De esta forma, se puede obtener el punto en el cual cada evento ocurre.

2.2.3.1 Eventos reflectivos

Se originan debido a un cambio de medio de transmisión. Se producen en los adaptadores y conectores y su atenuación máxima debe ser de 0.75dB. Tienen la siguiente forma:

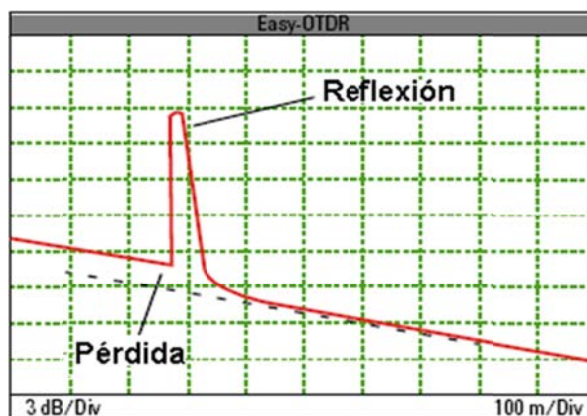


Figura. 2.22. Eventos reflectivos OTDR

2.2.3.2 Eventos no reflectivos

Son aquellos en los que no existe un cambio de medio de transmisión. Se producen en las fusiones y su atenuación máxima se define por términos contractuales. Tienen la siguiente forma:

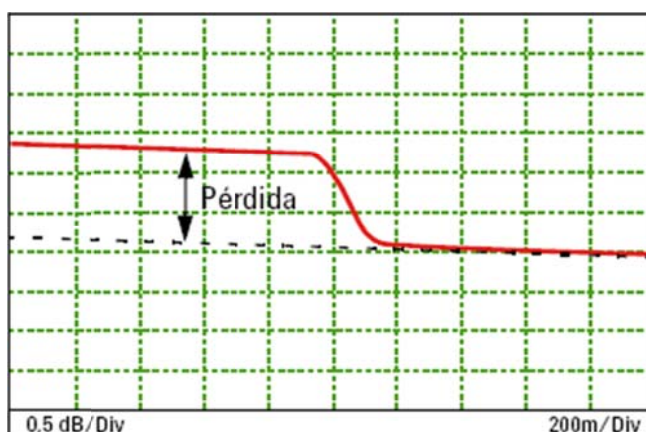


Figura. 2.23. Eventos no reflectivos OTDR

2.2.3.3 Eventos macro y micro bending

Se producen cuando se ha excedido el radio de curvatura mínimo del cable de fibra óptica. Se producen en el tendido del cable y su atenuación depende del exceso en la curva

realizada. Gráficamente tienen la misma forma que los eventos reflectivos pero en proporciones más grandes o mucho más pequeñas dependiendo del evento.

2.2.3.4 Fin de fibra

Ocurre cuando se termina el enlace y se caracteriza porque al final de la traza existe un evento reflectivo producido por el conector. Tiene la siguiente forma:

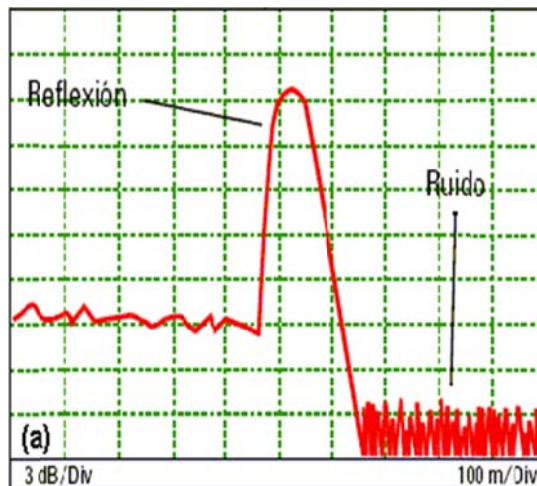


Figura. 2.24. Fin de fibra OTDR

2.2.3.5 Ruptura de fibra

Ocurre cuando el hilo de fibra óptica se ha roto y se caracteriza porque al final de la traza no existe un evento reflectivo. Tiene la siguiente forma:

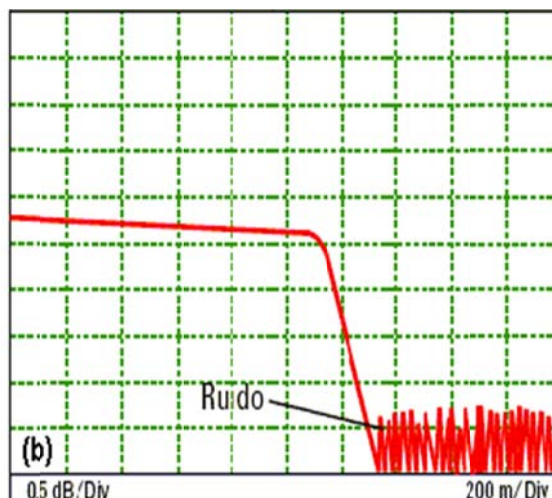


Figura. 2.25. Ruptura de fibra OTDR

2.2.4 Power Budget

El powerbudget es la cantidad de energía disponible para perder en un enlace y garantizar conectividad. Se calcula utilizando la ecuación dada en la norma UIT. G-652 y se le añade 3dB como margen de seguridad.

$$A \leq \sum L_{link} \leq \sum L_{length} + \sum L_{splice} + \sum L_{connector}$$

$$A < \alpha_d L + \alpha_s X + \alpha_c Y$$

Donde:

A = *Perdida total del tramo (dB)*

α_d = *Atenuación nominal de la fibra óptica a la longitud de onda especificada (dB/Km)*

L = *Longitud total del tramo (Km)*

X = *Número total de empalmes.*

No se consideran los empalmes de acometida y el empalme a pigtail, si existieren.

α_s = *valor medio de atenuación por empalme (dB)*

Y = *Número de conectores.*

α_c = *Perdida de la conexión a nivel de conectores (dB)*

Para el cálculo, se consideran los siguientes valores:

α_d = 0.25 dB/km a 1550 nm y 0.38 dB/km a 1310 nm.

Estos valores de atenuación deberán considerarse siempre y cuando correspondan a las medidas efectuadas sobre el cable, previo a la instalación.

En tanto se refiere a las pérdidas introducidas en el enlace debido a conectores y fusiones en el tendido se estandarizan los siguientes valores teóricos:

α_c = 0.25 dB para conector LC; SC, ST, FC.

α_s = 0.1 dB

Es necesario señalar que las pérdidas por fusión vienen definidas en términos contractuales por el ejecutante de la actividad. Dicho valor es calculado por el instrumento de fusión después de terminado el procedimiento y depende en gran parte de la habilidad del técnico que la realiza.



Figura. 2.26. Medición de fusionadora de FO obtenida luego de una fusión óptima

En el diseño de redes PON se incrementa a la medición de presupuesto de potencia las pérdidas de inserción por *spliteo*, dichos valores vienen dados en las hojas técnicas del fabricante del splitter e incrementan conforme el nivel de *spliteo* sea mayor, es decir, las pérdidas indicadas para un splitter 1x8 serán mayores que las medidas en un splitter 1x2.

El valor absoluto de pérdida se obtendrá como el promedio de 3 medidas efectuadas luego de 3 procesos de desconexión-conexión.

Cabe indicar que para el cálculo del powerbudget es necesario primero, contar con un claro panorama de los elementos a utilizarse en planta externa, para lo cual es imperativo referirse al diseño de la red de fibra óptica en términos de implementación; esto será tratado en el apartado siguiente.

2.3 DISEÑO DE REDES DE FIBRA ÓPTICA

Con los conceptos recopilados en el capítulo anterior y teniendo claro la diversidad de materiales y componentes presentes en una red de fibra óptica, se realiza un modelo

sistemático para el diseño de este tipo de redes, implementando conceptos y consideraciones adquiridas de forma empírica.

Los principales objetivos a cumplir en el diseño de una red de fibra óptica son:

- Maximizar el acople de luz dentro del hilo de fibra óptica.
- Minimizar la pérdida de luz conforme la misma viaja a través de la fibra.
- Maximizar la capacidad de información que se puede transmitir.
- Maximizar la disponibilidad.
- Facilitar el mantenimiento del sistema.
- Garantizar escalabilidad para futuras aplicaciones.
- Mantener el equilibrio de relación costo – beneficio.

La importancia de estos puntos, no necesariamente guarda relación con el orden descrito.

Considerando el criterio que se describe en el libro FiberOpticInstruction Manual de la reconocida firma de entrenamiento de los Estados Unidos “The Light Brigade” donde se recoge la opinión y experiencia de varios expertos en la materia, se citan 5 pasos para el diseño de un sistema de fibra óptica:

1. Especificar los requerimientos de operación del sistema.
2. Describir los requerimientos físicos y ambientales.
3. Calcular el presupuesto de potencia de la señal óptica.
4. Desarrollar un análisis del ancho de banda.
5. Realizar una revisión del diseño del sistema.

Debido al enfoque de este documento, se hará relación a los parámetros considerados para el diseño de la red en lo referente a la Planta Externa.

2.3.1 Enlaces punto a punto

Son aquellos enlaces en los que se usa un solo cable de fibra óptica para efectuar la comunicación y por ende, los empalmes o fusiones del tendido se realizan solo para unir bobinas.

Este tipo de enlaces son completamente nuevos, por lo que no tiene derivaciones y no se cruzan con redes existentes.

En el diseño de este y cualquier tipo de red de fibra óptica se seguirá el proceso descrito en el apartado introductorio, considerando en este caso, las pérdidas que se introducen sobre la comunicación debido a las fusiones entre bobinas y la distancia total del enlace en el presupuesto de potencia.

2.3.2 Redes con derivaciones

Son aquellos enlaces en los que se usa varios cables de fibra óptica, por lo que las fusiones se realizan para obtener las derivaciones a partir del cable principal. Este tipo de tendido constituye una especie de red punto a punto con la diferencia de que se debe ingresar a redes existentes de manera eventual. Como consideración puntual de diseño, es necesario cuantificar el número de fusiones por derivación que se llevarán a cabo a lo largo del trayecto para de esta manera, al igual que en el caso de las redes punto a punto, realizar el cálculo de presupuesto de acuerdo a dicha medición.

Puntualizando hacia los requerimientos activos, cada enlace o cada derivación, requiere de un recurso físico en el equipo activo concentrador en el nodo, lo cual es una de las principales diferencias con respecto a las redes con splitter óptico.

2.3.3 Redes con splitter óptico

Este tipo de redes son también conocidas como redes pasivas, y constituyen una alternativa eficiente al momento de optimizar recursos en el diseño.

Dependiendo del estándar utilizado (BPON, GPON, GEPON), las redes pasivas permiten transportar la información de hasta 128 enlaces⁷ a través de un solo hilo de fibra utilizando técnicas de multiplexación WDM con la presencia de un elemento pasivo llamado splitter.

Para el diseño de una red pasiva, ingresa al cálculo de presupuesto de potencia una variable adicional relacionada con las pérdidas de inserción por *splitteo* que dependen

⁷Estándar ITU-T G.984 GPON <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>

directamente del tipo de elemento (1x4, 1x8, 1x16, etc.) cuya medición es especificada por el fabricante en la hoja técnica del splitter.

En el diseño PON se dividen los puntos de conexión por zonas y estos a su vez recogen el número de usuarios tomando en cuenta un factor de escalabilidad que permitirá atender a usuarios potenciales del servicio.

Finalmente, es recomendable estandarizar el proceso de *splitteo* por zonas, por ejemplo, si en una zona X existen 40 clientes por atender sumado un 50% de crecimiento de escalabilidad dan como total 60 usuarios; en otra zona Y existen 20 clientes por atender sumado el mismo 50% de escalabilidad suman un total de 30 usuarios; pese a que entre ambas zonas existe una diferencia notable, se recomienda, en este caso, dimensionar el número de usuarios a 64 de tal forma que tanto en la zona X como en la zona Y se coloque un splitter 1x8 seguido de otro splitter 1x8 en cada hilo del splitter principal a fin de alcanzar los 64 usuarios; esta sugerencia tiene como objetivo evitar el cálculo del Power Budget por cliente y hacer un único cálculo para el cliente más lejano, ya que toda la red guarda la misma composición.

CAPITULO III

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS REDES DE COBRE Y FIBRA ÓPTICA

3.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ORDENANZA LMU40

Mediante ordenanza municipal 0022, el Ilustre Municipio de Quito establece normas para la utilización del espacio público en referencia a la instalación de redes de servicios a través de la “Licencia Metropolitana Urbanística de Utilización o Aprovechamiento de Espacio Público para la instalación de Redes de Servicio”, LMU 40.

La ordenanza establece que están obligados a obtener la LMU 40, los Prestadores de Servicios que utilicen o aprovechen el espacio público para la instalación de Redes de Servicio dentro de la circunscripción territorial del Distrito Metropolitano de Quito, a excepción de:

- a) Las entidades que extiendan redes para el Sistema Nacional Interconectado de 138 y 230 KV.
- b) Los organismos u órganos públicos que extiendan redes para los sistemas de semaforización y de video control para la seguridad ciudadana.
- c) Los organismos y órganos competentes del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

La presentación del formulario de solicitud de la LMU 40 conlleva automáticamente el otorgamiento de la LMU 40 cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Que el formulario de solicitud haya sido presentado a la Autoridad Administrativa Otorgante, ante el funcionario competente y en el lugar que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito hubiere habilitado para el efecto;
- b) Que el formulario de solicitud cumpla con los requisitos establecidos y conste la declaración sobre veracidad de la información consignada en el formulario normalizado y sus anexos;
- c) Que se hubiere acompañado la información cartográfica o diagrama digitalgeoreferenciado del proyecto de instalación o ampliación de Redes de Servicio, cuyo licenciamiento se solicita; y,
- d) Que se hubieren acompañado los demás requisitos documentales exigidos dentro del procedimiento, incluyendo los documentos que habilitan la representación y determinan la identidad del solicitante o, en su caso, su identificación; y, la autorización administrativa prevista en el ordenamiento jurídico nacional para prestar el servicio u operación.

En lo referente a los requerimientos técnicos para la instalación de redes de telecomunicaciones en planta externa, se tienen como base los siguientes puntos:

1. Se puede dejar reserva de cables entre postes formando una figura 8 y cosidas o tejidas. No se pueden dejar reservas de cables en los postes.
2. En un poste se puede instalar máximo una caja de dispersión y una fuente de poder. Si en el poste se instalan estos dos equipos, la caja de dispersión se instalará hacia la vía y la fuente de poder hacia la edificación.
3. En aceras mayores a 1,2 m de ancho, la caja de dispersión estará ubicada a 10 cm del herraje destinado para ordenar las redes de telecomunicación, máximo se ubicarán dos cajas de dispersión por poste, una en la parte frontal y la otra en la parte posterior. En aceras menores a 1,2 m de ancho, se ubicará una sola caja de dispersión en la parte frontal y estará ubicada a 10 cm del herraje para ordenamiento de redes de telecomunicación.
4. Los elementos pasivos, excepto las cajas de dispersión, se instalarán a los lados del poste y se ubicarán mínimo a una distancia de 40 cm del poste. Se pueden instalar

- máximo 3 elementos pasivos por cada lado del poste, exceptuando las cajas de dispersión.
5. En un poste no se pueden instalar mangas, amplificadores y nodos. Cuando los elementos activos se instalen a los lados del poste, se ubicaran mínimo a una distancia de 1 m del poste. Se pueden instalar máximo 1 elemento activo por cada lado del poste.
 6. En postes donde existan equipos de transformación, protección y seccionamiento no se pueden instalar elementos activos o pasivos. En caso de requerir la instalación de un equipo de gran volumen en la postería, deberá realizarse una inspección previa por parte del personal de la EEQSA para determinar la factibilidad de la instalación.
 7. Referente a la identificación, la etiqueta se ubicará pasando un poste, con el rotulado de frente a la vía, sea al costado derecho o izquierdo del poste.
 8. Todas las redes de telecomunicación de una misma empresa tienen que estar empaquetadas, formando un solo cableado.
 9. La instalación de las redes de telecomunicaciones, donde no existan cruces de vías de las redes, debe realizarse a una altura mínima de 5,5 m desde la acera.
 10. La instalación de las redes de telecomunicaciones, donde existan cruces de vías de las redes, debe realizarse a una altura mínima de 6 metros desde la acera.
 11. Se debe evitar en lo posible el cruce de avenidas con redes, si no es posible se debe centralizar a un poste mínimo de 11,5 m. de altura. Los vanos máximos para la instalación de redes de telecomunicaciones tienen que ser de 50 m. En caso de tener vanos mayores a 80 m la EEQ instalará un poste intermedio.

En estos 11 puntos se ha resumido la información que se ha considerado más relevante, para la elaboración de este documento, dentro del anexo técnico de 127 páginas presentado conjuntamente con la ordenanza 0022 por parte del grupo de colaboradores del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

3.1.1 Evaluación geográfica de la zona de prioridad A de la ciudad de Quito.

La LMU 40, de acuerdo a las exigencias geográficas y a la criticidad de las condiciones del tendido aéreo en la ciudad de Quito, establece prioridades de acuerdo a una zonificación para la desocupación del espacio público aéreo y reordenamiento de Redes de Servicio en el espacio público aéreo, cuyo gráfico consta en el Anexo 1 de este documento,

bajo el título “*Gráfico de Zonificación para la desocupación progresiva del espacio público aéreo y reordenamiento de Redes de Servicio en el espacio público aéreo*”.

- a) **Zonas A, Alta prioridad de desocupación del espacio aéreo:** son las zonas en las que resulta de alta prioridad trasladar las Redes de Servicio de manera inmediata del espacio público aéreo al espacio público del subsuelo;
- b) **Zonas B, Alta prioridad de reordenamiento del espacio aéreo:** son las zonas en las que resulta de alta prioridad el reordenamiento de las Redes de Servicio instaladas en el espacio público aéreo que, por razones técnicas, económicas o de otra índole, no pueden ser trasladadas al subsuelo en el corto y/o mediano plazo;
- c) **Zonas C, Alta Prioridad Patrimonial y Simbólica:** Son los corredores y otras áreas urbanas que están siendo intervenidos, o van a ser intervenidos de forma inmediata y a corto plazo por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y en los que los Prestadores de Servicios serán llamados a proceder de inmediato con los nuevos tendidos subterráneos o el ordenamiento de las Redes de Servicio, según sea el caso, de conformidad con los contenidos de este Título;
- d) **Zonas D. Grandes Proyectos Urbanos:** Son las zonas urbanas señaladas por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito que serán sujetas a intervenciones integrales de carácter urbano y que requerirán de procesos de intervención público – privada concertados, con utilización o no de Acuerdos de Intervención; y,
- e) **Zonas E. Para Intervenciones Especiales:** Son las zonas en que se desarrollan aquellos proyectos de instalaciones subterráneas que siendo solicitados por el sector privado han recibido el visto bueno del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito para proceder en los términos y condiciones establecidos en este Título. Se considerarán también en esta categoría las nuevas intervenciones no previstas en el plan de zonificación, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, que por petición de parte o decisión municipal, se decida emprender concertadamente.

A continuación se examinarán los límites geográficos que delimitan la zona de prioridad A de la ciudad de Quito:

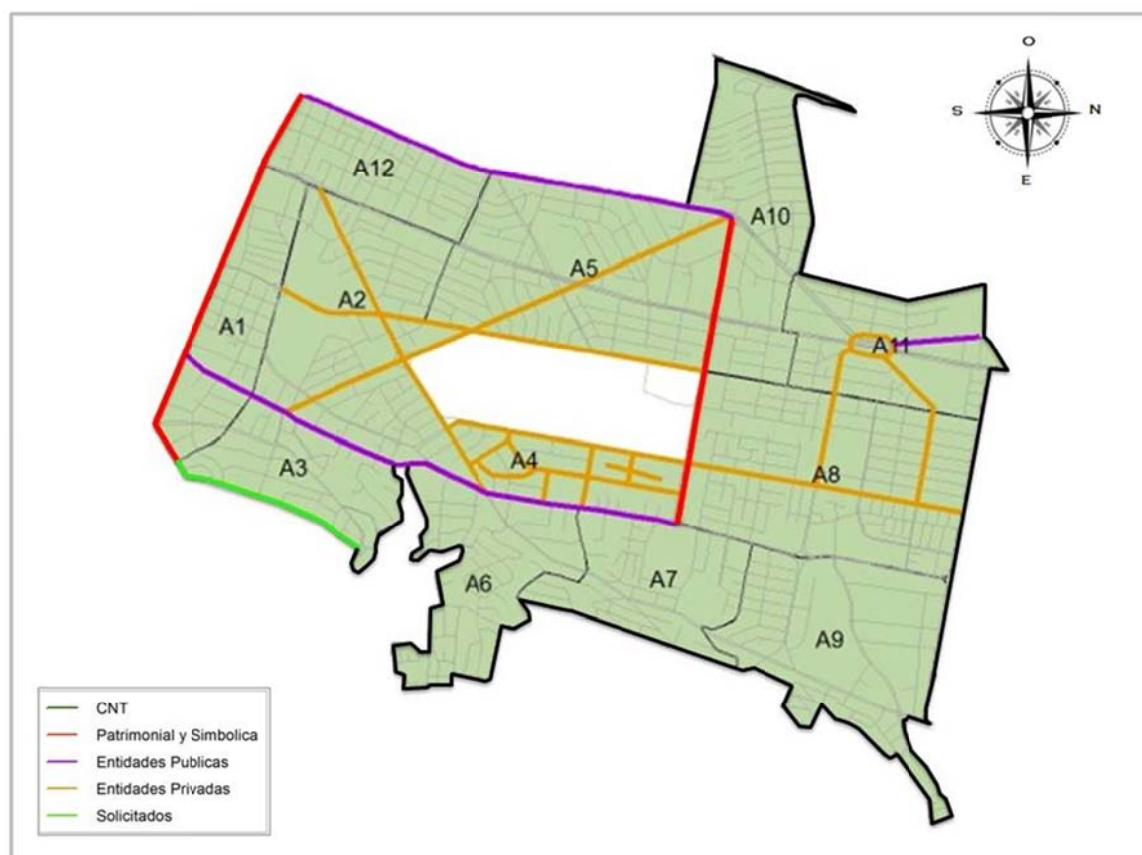


Figura. 3.1. Mapa geográfico de la Zona de Prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito

Al sur, la Av. Cristóbal Colón como límite Patrimonial y Simbólico con alta prioridad de soterramiento del tendido aéreo; al norte, desde el oeste la Av. Edmundo Carvajal, Av. El Inca y Av. Rico Coca; al oeste la Av. América, Av. Mariscal Sucre – delimitando el sector de la Granda Centeno y la Av. Brasil hasta la Av. Edmundo Carvajal; finalmente hacia el este, el límite urbano de la ciudad de Quito partiendo desde la Av. González Suarez hasta la Av. De Los Granados al norte.

Dentro de estos límites, existen proyectos puntuales de soterramiento que se fijaron de acuerdo a los proyectos municipales del sector y a la densidad de cableado aéreo existente, por ejemplo, la Av. Naciones Unidas -marcada en rojo en el mapa- tiene una connotación Patrimonial y Simbólica por lo que todo el tendido aéreo está siendo migrado a los pozos de soterramiento, debido a la obra municipal que se lleva a cabo en el sector.



Figura. 3.2.Soterramiento Proyecto Patrimonial Bulevar Av. Naciones Unidas –Quito

La Av. República del Salvador –marcada con anaranjado- corresponde a proyectos de soterramiento realizados con el financiamiento y mano de obra de las entidades privadas que son responsables de los usuarios y servicios desplegados en el sector. Aquí, es notoria la mejoría conseguida en el espacio público aéreo.



Figura. 3.3.Soterramiento Entidades Privadas Av. República del Salvador –Quito

Actualmente, está en progreso el soterramiento del polígono comprendido entre la Av. Naciones Unidas, Av. 6 de Diciembre y Av. De Los Shyris, en donde se intervienen además la Av. República del Salvador y Av. Portugal con 11 calles transversales.

Los trabajos en esta zona empezaron con la instalación de un cerramiento de seguridad y un túnel provisional para la circulación peatonal. En la aceras se ha realizado la excavación de tres zanjas, una para colocar a profundidad el nuevo alcantarillado, otra para el cableado eléctrico y una adicional para las telecomunicaciones. Para canalizar la red eléctrica se han acondicionado nueve ductos, dos para semaforización e iluminación pública, tres para las redes de alta tensión y cuatro para los cables de media tensión. En el pozo para las telecomunicaciones se han implementado doce conductos –en tres columnas de cuatro ductos-, dos destinados para semaforización, cuatro para el uso de la CNT y los seis ductos restantes para empresas de telecomunicaciones particulares. Por otros cuatro triductos pasan las redes públicas y privadas de fibra óptica donde cada 30m se colocan

cajas de revisión independientes para cada servicio y desde este punto se realizarán las acometidas de acceso a los inmuebles.

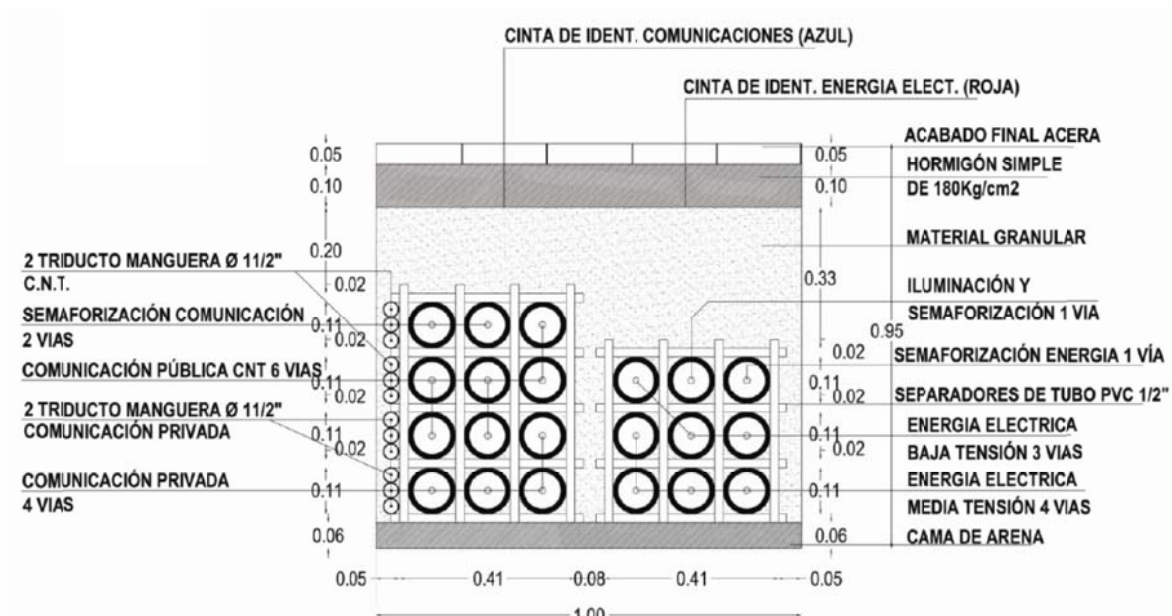


Figura. 3.4. Disposición de ductos en las zanjas destinadas para redes de telecomunicaciones (izquierda).

La obra de este polígono concluyó a finales del año 2012, sin embargo, el despliegue de obra en el resto de la zona continúa.

3.2 ANÁLISIS OPERATIVO DE LA RED DE COBRE DE UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES DE LA CIUDAD DE QUITO.

Por motivos de confidencialidad de la información en las empresas de telecomunicaciones que operan dentro de la zona A de la ciudad de Quito, en este apartado se utilizarán valores referenciales tomados de una red actualmente operativa en el sector.

Se inicia el análisis calculando el total de cables de cobre existentes dentro del perímetro de la zona realizando un levantamiento de información sobre las principales rutas en las que se encuentra presente el tendido de Planta Externa, dicha información se recoge en el Anexo 2 de este documento, a continuación la Tabla 3.1 resume su contenido:

Tabla. 3.1. Cables de cobre existentes dentro del perímetro de la zona A.

ZONA	CABLES DE COBRE							TOTAL CABLES	TOTAL (m) LINEALES
	10 pares	20 pares	30 pares	50 pares	70 pares	100 pares	150 pares		
A	82	32	26	12	21	13	8	194	31973

Con los resultados obtenidos en la Tabla anterior, se tiene un dimensionamiento referencial de la cantidad de cable de cobre utilizado en el despliegue de servicios dentro de la zona, sin embargo, es necesario realizar un conteo de los elementos pasivos incluidos en Planta Externa.

De acuerdo a la información recogida, se estima que existe un promedio de 400 cajas de empalme y 300 cajas de acceso instaladas para el funcionamiento de esta red.

Tomando en cuenta que los vanos de instalación dentro del perímetro en cuestión son de aproximadamente 40m y el total de tendido de cable es de 31973m, se puede estimar que existen alrededor de 800 postes en la ruta donde se encuentra desplegado el cableado de telecomunicaciones; esta medición resulta de utilidad para estimar la cantidad de herrajes necesarios para habilitar el tendido, debido a que no se dispone de información exacta del total de estos elementos que se encuentran instalados.

Haciendo un breve análisis de las rutas tomadas de acuerdo a la información recogida en el Anexo 2, se puede concluir que se utilizaron aproximadamente 500 herrajes tipo B (tramos rectos) y 300 herrajes tipo A (curvas pronunciadas) para cubrir el referencial de 800 postes.

Hasta el momento, los datos recopilados constituyen mediciones informativas que serán posteriormente tomados en cuenta para el análisis de costos de los apartados 3.6 y 3.7. A continuación se analizarán variables adicionales con respecto al desempeño operativo de la red.

3.2.1 Vulnerabilidad de la red de cobre

Tomando en cuenta la densidad de usuarios y la cantidad de tendido de cable de cobre existente en la zona, se ha evaluado la vulnerabilidad de esta red en base a datos tomados del centro de gestión que administra los servicios desplegados a través de este medio de transmisión.

Tabla. 3.2.Eventos atendidos durante el primer quimestre del año 2012

Total eventos atendidos						
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	TOTAL
Operador 1	84	112	73	70	50	389
Operador 2	98	41	92	57	84	372
Operador 3	93	109	91	64	106	463
Operador 4	94	128	84	90	92	488
TOTAL MES	369	390	340	281	332	1712

La Tabla 3.2 muestra el total de eventos atendidos durante el primer quimestre del año 2012. El centro de gestión cuenta con 4 operadores, de los cuales se observa que el primero atendió 389 casos, el segundo 372, el tercero 463 y el cuarto 488 dando un total de 1712 casos atendidos.

Tomando en cuenta que, de la red involucrada en todos los casos mencionados solamente el 10% corresponde a tendido de cobre y que el detalle de eventos indica que 105 correspondieron a afectaciones sobre el tendido de planta externa, 37 a asuntos relacionados con red del cliente y 29 con otros eventos, como falsa alarma, se tienen los porcentajes de ocurrencia mostrados en la Tabla 3.3 que se reflejan en la Figura 3.3.

De la muestra total de 105 casos de planta externa, se determinó que 80 casos correspondieron a eventos sobre el tendido de cobre dentro del perímetro de la zona A, lo cual se indica en la Tabla 3.4 que se refleja en la Figura 3.4.

Tabla. 3.3.Porcentajes de ocurrencia por evento durante el primer quimestre del año 2012

Problemas			
	Planta Externa	Cliente	Otros
COBRE 10%	105	37	29
	%	%	%

	Planta Externa	Cliente	Otros
171	61	22	17



Figura. 3.5. Porcentajes de ocurrencia por evento durante el primer quimestre del año 2012

Tabla. 3.4. Eventos registrados en la Zona A del Distrito Metropolitano de Quito

QUITO		
ZONA A	OTRAS	TOTAL
80	25	105



Figura. 3.6. Eventos registrados en la Zona A del Distrito Metropolitano de Quito

Como se puede observar, la medición refleja que más del 75% de los eventos relacionados con Planta Externa tienen lugar dentro de la Zona A, lo cual confirma la importancia del sector y la vulnerabilidad del tendido de cobre dentro del perímetro. En su mayoría, las causas de los inconvenientes tienen relación con el robo de cables, accidentes de tránsito y actos de vandalismo.

3.2.2 Capacidad de la red de cobre

Actualmente, la red presta servicios ADSL2+ que en su gran mayoría están dirigidos al acceso hacia Internet, cuya importancia radica principalmente en la relación de capacidad dada por dos factores: ancho de banda vs distancia.

Como se señaló en el primer capítulo, las tecnologías de transmisión de datos a través del par de cobre dependen especialmente de la calidad del tendido, el diámetro del núcleo y la distancia del usuario hasta la central o nodo donde se conecta su servicio. Teóricamente, el límite para un servicio aceptable está alrededor de 5,5 km de longitud de línea, sin embargo, el límite real suele ser del orden de los 3 km.

En el caso de la red en cuestión, se han realizado mediciones experimentales a fin de confirmar los factores limitantes de operación del tendido actual. Las pruebas fueron efectuadas en base a uno de los clientes más lejanos, tomando en cuenta la distancia total del tendido de cobre desde el nodo hasta el punto donde se ubica el CPE.

La tabla 3.5 resume el resultado de las pruebas. La distancia establecida para las mediciones es de 2947m; en los resultados obtenidos con el CPE marca ZINC se observa que la capacidad máxima del canal es de 768/768 Kbps con una configuración de línea de 832/832 Kbps a una velocidad de transferencia de 654 Kbps, sin embargo, utilizando el CPE marca ERICSSON HM 310 se alcanzó una configuración máxima de 1664/1664 Kbps a 1391 Kbps de velocidad de transferencia.

Al intentar alcanzar los 2Mbps de capacidad, el CPE no sincronizó. Estas pruebas reflejan de manera real las limitaciones de esta tecnología. Las características de atenuación y SNR del tendido de cobre utilizado en las pruebas, así como la totalidad de los resultados obtenidos en las pruebas, se detallan en la tabla de mediciones del Anexo 3.

Tabla. 3.5.Resumen de mediciones de desempeño distancia vs capacidad.

CPE	Downstream/Upstream (kbps)	Downstream/Upstream (kbps) (configurado)	Distancia de la línea de cobre (m)
Zinc	512/512	576/576	2947
	768/768	832/832	
	1024	1152/1152	
Ericsson HM 310	512/512	576/576	
	768/768	832/832	
	1024/1024	1152/1152	
	1536/1536	1664/1664	
	2048/2048	2272/2272	

3.3 DISEÑO DE UNA RED BROADBAND – PON PARA LA ZONA DE PRIORIDAD A DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

3.3.1 Requerimientos de operación del sistema.

Para el diseño de esta red se tomarán en cuenta los sectores con mayor demanda de servicios dentro de la zona A, y, debido a que la importancia de esta fracción de la ciudad radica principalmente en una alta presencia de empresas y locales comerciales, no se analizará ningún tipo de servicio a nivel masivo o residencial y solamente se atenderá el sector comercial.

Bajo el estándar ITU-T G.983.1 el ancho de banda máximo soportado en la red será de 622Mbps/155Mbps. A continuación se especifica la ubicación de los elementos pasivos en la red de Planta Externa dentro de la zona A del Distrito Metropolitano de Quito.

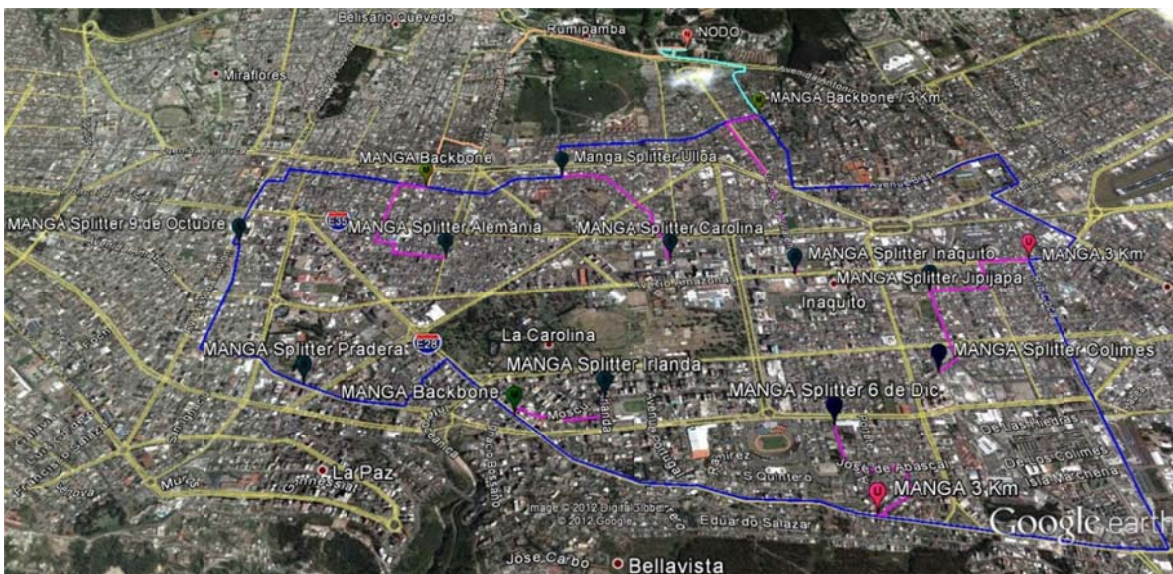


Figura. 3.7. Ubicación de elementos pasivos dentro de la red de FO de Planta Externa

Se ha considerado un diseño de planta externa a manera de red metropolitana (azul) de tal forma que sea posible ofrecer rutas redundantes, siempre y cuando se tenga redundancia de equipos en el cliente y de puerto en la OLT. Se ha tomado como referencia el nodo de una empresa de telecomunicaciones que presta este tipo de servicios en la ciudad de Quito, con el objetivo de realizar el cálculo de distancia en el presupuesto de potencia de la señal óptica. La figura a continuación detalla el esquema lógico de operación de los elementos de planta externa mostrados en la gráfica 3.3.

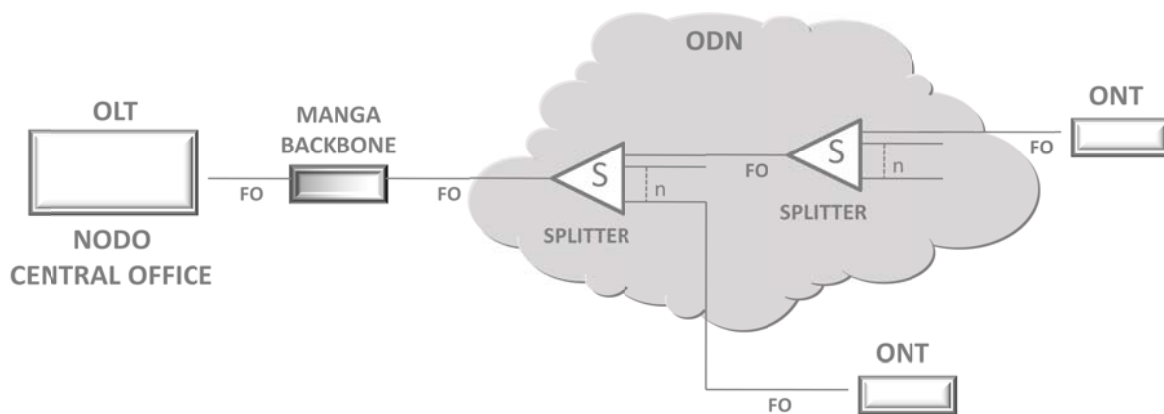


Figura. 3.8. Esquema lógico de operación de elementos de planta externa.

Las mangas empleadas para soportar derivaciones principales y splitters serán utilizadas para dar acceso al cable de fibra óptica proveniente de la ONT del cliente. La ubicación de los splitters está realizada de tal forma que entre dicho elemento y la ONT, exista una distancia menor a 1 Km. La distancia total del tendido de red metropolitana tiene aproximadamente 15 kilómetros, a esto se suma: el acceso hacia el nodo de entre 2 y 3 kilómetros -dependiendo de la ruta- y, el tendido entre la red metropolitana y el splitter (violeta), cuya medición no supera los 2 kilómetros. En el apartado 3.3.3 se realizará el cálculo de potencia considerando estas mediciones, y las características de los equipos detallados en el apartado siguiente.

3.3.2 Requerimientos físicos y ambientales.

El equipo a utilizar es una OLT Marca Tellabs1000 – DMAX 1120 cuyas características principales se mencionan a continuación:

- 2 slots para CPU
- 2 slots para PSU
- 22 slots de propósito general.
- Funcionamiento como shelf primario o de expansión (hasta 8 shelf).
- 500 Mbps de capacidad en el bus del backplane

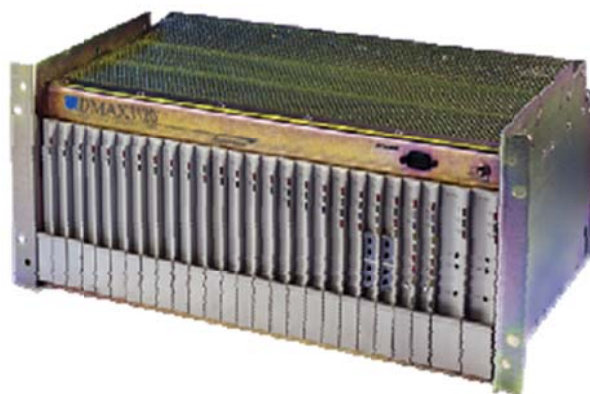


Figura. 3.9. OLT Marca Tellabs 1000 – DMAX 1120

La tarjeta PON a utilizarse en el equipo cuenta con las siguientes características:

- 1 único puerto de FO (1 hilo) hacia la ODN.
- Soporta múltiples tipos de ONT sobre la misma tarjeta (hasta 32 ONTs).
- 622 Mbps Downstream / 155 Mbps Upstream.
- Conector SC UPC.



Figura. 3.10. Tarjeta PON TELLABS

En el cliente, el elemento activo a utilizarse es una ONT 611i TELLABS con las siguientes características:

- 4 puertos POTS: llamadas de voz soportadas utilizando TDM o SIP.
- 1 puertoFastEthernet: 30Mbps/10Mbps throughput.
- 1 puerto para CATV (coaxial RG59 – RG6) – servicio de cable 870 MHz.
- Monitoring & Management vía Tellabs 1090 NMS (Panorama)
- Conector SC APC (1 hilo)



Figura. 3.11. ONT 611i TELLABS

En planta externa, se tomarán en cuenta las mangas de empalme: TYCO FIST – GCO2 (Gráfico. 3.7.) empleada para soportar derivaciones principales y splitters; y la TYCO 400 A4 y A8 (Gráfico. 3.8.) empleadas para soportar derivaciones secundarias.

A estos últimos elementos se suman las cajas o cassettes porta fusiones FIST-SOSA2 (Gráfico. 3.9.) y los splittersFIST-SASA2 (Gráfico. 3.10.) de acuerdo a la cantidad de derivaciones necesarias en el diseño.



Figura 3.12. Manga TYCO FIST – GCO2

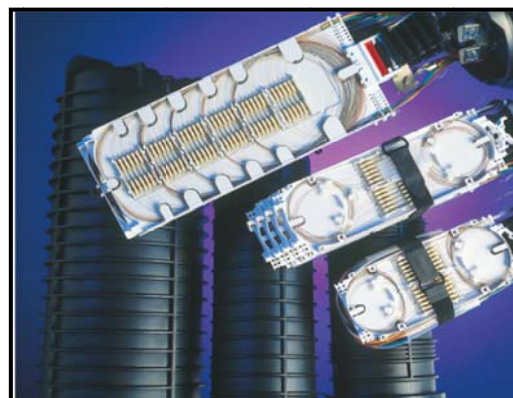


Figura. 3.13. Mangas TYCO 400



Figura. 3.14.CassettesFIST-SOSA2

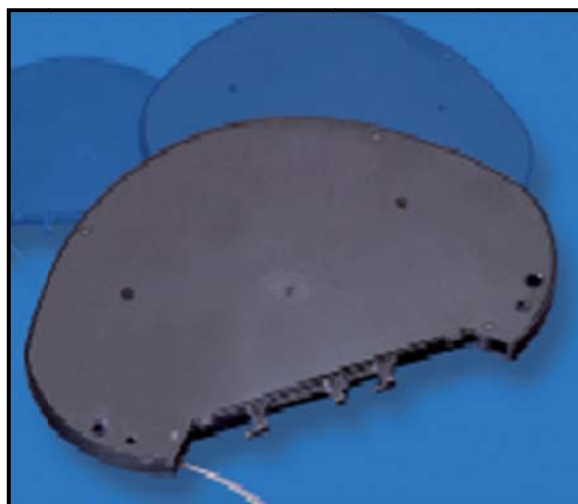


Figura. 3.15. SplittersFIST-SASA2

En lo referente al tendido de fibra óptica, y tomando en cuenta la distribución especificada en el apartado 3.3.1, se utilizará cable con fibra óptica monomodo ADSS (ITU-T Rec. G.652D) como el especificado en la figura 3.5. El tendido de backbone de red metropolitana, y el tendido de acceso al nodo, utilizarán cable con 36 hilos. El tendido de conexión entre la red metropolitana y el splitter principal, y, el tendido de acceso al cliente, desde el splitter hasta la caja terminal, fibra óptica de 6 hilos. Esta distribución está realizada tomando en cuenta que cada splitter utiliza un único hilo de fibra óptica hasta el nodo y que el acceso al cliente utilizaría 2 hilos de fibra óptica, como máximo, dependiendo de si se trata o no de un enlace redundante.

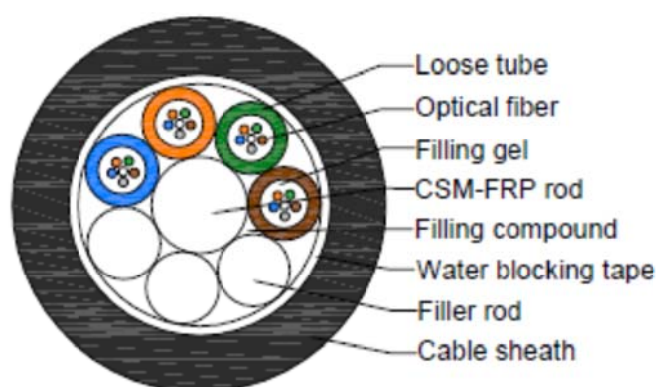


Figura. 3.16.Cable de fibra óptica ADSS (ITU-T Rec. G.652D). Ilustración tomada del datasheet del cable, proporcionado por la empresa CLAUPEP TELECOMMUNICATION.

Dependiendo de la geografía del trazado, se utilizarán herrajes de paso preformados y herrajes terminales según sea el caso, de acuerdo a lo indicado en el apartado 2.1.6.

Finalmente, los patchcords a utilizar guardan relación con las características del cable de planta externa de acuerdo a la recomendación G.652D, conectores SC y tipo de férula UPC, de una distancia mínima de 3m y máxima de 10m.

3.3.3 Presupuesto de potencia de la señal óptica.

De acuerdo a lo indicado en el apartado 2.2.4 de este documento, a continuación se realiza el cálculo de potencia de la red:

$$A < \alpha_d L + \alpha_s X + \alpha_c Y + \alpha_{spt} S$$

Para el cálculo, se consideran los siguientes valores, de acuerdo a la información detallada en el datasheet del cable:

@ 1310 nm $\rightarrow \alpha_d = 0.36$ dB/km

@ 1550 nm $\rightarrow \alpha_d = 0.22$ dB/km

En lo referente a pérdidas por conectores, se utiliza el valor teórico promedio $\alpha_c = 0.25$ dB/conector, y las pérdidas por fusión de fibra óptica $\alpha_s = 0.1$ dB/fusión.

Tomando en cuenta que: el tendido de acceso al nodo más largo es de 3km, que el tendido de backbone es de 15km en total, y que los tendidos de acceso al cliente tienen como máximo 1km; se ha considerado como distancia de diseño a la más significativa, es decir $L = 15$ km.

Dado que los conectores necesarios para habilitar el acceso deben ir en ambos equipos terminales, entonces $Y = 2$. En cuanto a la cantidad de fusiones, es necesario considerar que el carrete de cable de fibra óptica tiene una longitud máxima de 3km y, sabiendo que la distancia máxima a considerar en el diseño es de 15km, entonces $X = 5$; sin embargo, quedan por sumar, 2 fusiones correspondientes a la unión del cable de fibra óptica de planta externa, con el pigtail en ambos ODF terminales.

Al ser un cálculo basado en una red óptica pasiva, se consideran dos niveles de *splitteo*, el primero a 1x8 y el segundo a 1x4; de acuerdo al datasheet del elemento a utilizar la pérdida de inserción por *splitteo* a 1x8 es $\alpha_{spt} = 10.8$ dB y a 1x4 es $\alpha_{spt} = 7.3$ dB; de esta forma se tiene que:

Tabla. 3.6. Cálculo de pérdida de potencia máxima en fibra óptica monomodo, diseño BPON

$\lambda = 1310\text{nm}$	$\lambda = 1550\text{nm}$
$A < 0.36(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + 10.8 + 7.3$	$A < 0.22(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + 10.8 + 7.3$
$A < 5.4 + 0.7 + 0.5 + 18.1$	$A < 3.3 + 0.7 + 0.5 + 18.1$
$A < 24.7 \text{ dBm}$	$A < 22.6 \text{ dBm}$

De acuerdo a las características de los equipos ONT y OLT, se tienen una potencia de salida en la ONT de 0 dBm y una sensibilidad de recepción de -28dBm en la OLT; con lo cual el presupuesto de potencia es de 28dB.

Del cálculo efectuado en la tabla 3.6, la máxima pérdida de potencia es de 24.7dBm, por lo que el diseño es aplicable, con un margen a favor de 3.3 dBm.

3.3.4 Análisis del ancho de banda.

De acuerdo al datasheet del fabricante, el cable de fibra óptica monomodo ADSS a utilizar cumple con la recomendación ITU-T G.652D, cuya documentación indica que el cable está diseñado para soportar aplicaciones con anchos de banda de hasta 200 THz-Km en 1310nm y 1550nm. Los cálculos de ancho de banda de este apartado, se sustentarán en la capacidad del cable y los 622Mbps/155Mbps especificados en la recomendación ITU-T G.983.1 que corresponden a la capacidad de la tarjeta PON a utilizar.

Con esta información, se calcula la distancia máxima de operación:

$$D_{max} = \frac{\text{fiber bandwidth available}}{\text{operating rate}}$$

$$D_{max} = \frac{200 \left[\frac{\text{THz}}{\text{Km}} \right]}{622 [\text{MHz}]}$$

$$D_{max} = 321543.41 \text{ Km}$$

Como se puede observar, el cálculo en downstream tiene una distancia máxima sumamente grande, con lo cual se puede concluir, que las limitaciones de capacidad de la red dependen únicamente del factor de atenuación calculado en el apartado anterior.

El análisis de ancho de banda, tiene mayor incidencia al realizar cálculos con fibra óptica multimodo, ya que la capacidad de transmisión por km está en el orden de los Mhz.

3.3.5 Revisión del diseño del sistema.

De todas las mediciones y cálculos realizados, se tiene una red de fibra óptica para aplicaciones de voz y datos con una capacidad de 622Mbps en downstream y 155Mbps en upstream. Los equipos activos y pasivos seleccionados cumplen con los parámetros establecidos en las normas regulatorias, de tal forma que se garantice la operación de la red. El tendido de planta externa está diseñado bajo la recomendación ITU-T G.983.1 y cuenta con dos niveles de splitteo, de tal forma que se atiendan 32 clientes por cada splitter principal, mismos que se encuentran ubicados de forma estratégica dentro de la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito, sumando un total de 10, lo cual indica una capacidad máxima inicial de 320 clientes.

El tendido de red metropolitana, con cable de fibra óptica monomodo ADSS G.652D, cuenta con 36 hilos, de los cuales se ocupan 10 hilos –uno por cada splitter- teniendo 26 hilos a favor para crecimiento de la red, que, tomando en cuenta que cada hilo atiende 32 clientes, se tiene un crecimiento total de 832 clientes; sin embargo, es necesario tomar en cuenta que al ingresar un nuevo splitter a la red de planta externa, también es necesario incrementar una tarjeta PON en el equipo activo (OLT) para habilitar el servicio.

De acuerdo a los cálculos realizados la distancia máxima para el enlace OLT-ONT es de 15Km, con un margen a favor de 3.3dBm. El tendido de planta externa está diseñado para atender el sector comercial de la zona A del Distrito Metropolitano de Quito.

3.4 DISEÑO DE UNA RED GIGABIT CAPABLE – PON PARA LA ZONA DE PRIORIDAD A DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

3.4.1 Requerimientos de operación del sistema.

En lo referente a los elementos pasivos y, la ubicación de los mismos dentro de la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito, se considera la misma

distribución realizada para el diseño BPON, ya que, al tratarse de redes pasivas, el tendido de planta externa guarda la misma relación de componentes.

Acorde a lo indicado en el estándar ITU-T G.984 correspondiente a la tecnología GPON, el ancho de banda soportado por la red será de hasta 10Gb/s, lo cual difiere de la capacidad soportada por la red BPON; y además, bajo esta tecnología se habilitarán 64 circuitos por splitter.

3.4.2 Requerimientos físicos y ambientales.

Como se indicó anteriormente, los elementos pasivos de la red de planta externa se mantienen, sin embargo, es necesario cambiar el equipamiento activo.

Equipamiento central OLT Hi-FOCuS F-152 MSAN con las siguientes características principales:

- Capacidad máxima de 15 tarjetas tributarias o de línea GPLT4, con soporte de 4 puertas PON en cada una.
- Capacidad para 2 tarjetas de conexión a la red de datos (HBNI-42) equipadas con 4 puertos Gigabit Ethernet y dos puertos de 10 Gigabit Ethernet cada una.



Figura. 3.17. OLT Hi-FOCuS F-152 MSAN

Equipo remoto ONT B-FOCuS O-1G con las siguientes características:

- Posee un único puerto Ethernet 10/100/1000 BaseT (auto sense, máx. 256 MAC Address).
- Posee un conector óptico angulado SC/APC.



Figura. 3.18. ONT B-FOCuS O-1G

Tarjeta tributaria GPON GPLT4 con 4 puertos:

- Soporta hasta 64 ONTs por puerto GPON.
- Cada puerto GPON soporta 2.5 Gbps en downstream y 1.25 Gbps en upstream, de acuerdo al estándar ITU-T G.984 GPON.



Figura. 3.19. Tarjeta tributaria GPON GPLT4

3.4.3 Presupuesto de potencia de la señal óptica.

Basado en el cálculo realizado en el apartado 3.3.3, tomando en cuenta que las pérdidas por inserción consideradas en el diseño BPON de planta externa, son iguales en cuanto a distancia, conectorización, y fusiones; se utilizará el valor ya obtenido, a excepción de la atenuación por splitteo.

Se considerarán dos niveles de *splitteo*, ambos a 1x8, de tal forma que se explote la máxima capacidad de la tarjeta GPON; de acuerdo al datasheet del splitter a utilizar, la pérdida de inserción por *splitteo* a 1x8 es $\alpha_{spt} = 10.8 \text{ dB}$; entonces se tiene que:

Tabla. 3.7. Cálculo de pérdida de potencia máxima en fibra óptica monomodo, diseño GPON

$\lambda = 1310\text{nm}$	$\lambda = 1550\text{nm}$
$A < 0.36(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$	$A < 0.22(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$
$A < 5.4 + 0.7 + 0.5 + 21.6$	$A < 3.3 + 0.7 + 0.5 + 21.6$
$A < 28.2 \text{ dBm}$	$A < 26.1 \text{ dBm}$

De acuerdo a la información proporcionada en el datasheet del fabricante de los equipos activos, el presupuesto de potencia es de 28dB. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo, se puede concluir que, para que el enlace OLT-ONT se dé bajo las condiciones adecuadas, se deberá realizar la transmisión en una longitud de onda igual a 1550nm, ya que, para 1310nm, se tiene una pérdida máxima total que excede el umbral para estos equipos. Tomando en cuenta este resultado, es necesario realizar el cálculo de la distancia máxima que se puede alcanzar, tomando en cuenta el presupuesto de potencia indicado por el fabricante:

$$28 \text{ dB} < 0.36(X) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$$

$$\frac{28 - 0.1(7) - 0.25(2) - (2)10.8}{0.36} > X$$

$$X < \frac{28 - 0.7 - 0.5 - 21.6}{0.36}$$

$$X < 14.4 \text{ Km}$$

Es decir que, a distancias inferiores a 14.4Km el diseño GPON a una longitud de onda de 1310nm es viable.

3.4.4 Análisis del ancho de banda.

Nuevamente, al igual que en el diseño BPON se utilizará un cable de fibra óptica monomodo bajo la recomendación ITU-T G.652D con una capacidad de hasta 200 THz-Km en 1310nm y 1550nm. Tomando en cuenta las características de la tarjeta GPON a utilizar, que indican una capacidad máxima de 2.5 Gbps en downstream y 1.25 Gbps en upstream, se tiene la siguiente estimación:

$$D_{max} = \frac{\text{fiber bandwidth available}}{\text{operating rate}}$$

$$D_{max} = \frac{200 \left[\frac{\text{THz}}{\text{Km}} \right]}{2.5 \left[\text{GHz} \right]}$$

$$D_{max} = 80000 \text{ Km}$$

Evidentemente, debido a la magnitud de la distancia obtenida, esta consideración de hace innecesaria y se limita únicamente a las restricciones de presupuesto de potencia.

3.4.5 Revisión del diseño del sistema.

La red considerada ha sido diseñada bajo los estándares especificados en la recomendación ITU-T G.984 y cuenta con un ancho de banda disponible de 2.5 Gbps/1.25 Gbps limitados a una distancia de 14.4Km para 1310nm y a 15Km para 1550nm, en tendidos de cable de fibra óptica monomodo ADSS G.652D.

La red GPON de planta externa cuenta con dos niveles de splitteo 1x8, es decir, con capacidad para soportar 64 clientes por puerto de la OLT. Se utiliza la misma distribución de elementos pasivos considerada en la red BPON, con 10 splitters, dando una capacidad máxima inicial de 640 clientes.

Por último, tomando en cuenta que el tendido principal de cable de fibra óptica cuenta con 36 hilos, con 10 utilizados en la puesta en marcha inicial, y considerando que cada hilo lleva la comunicación de 64 clientes; la proyección de escalabilidad de la red indica un crecimiento total de 1664 enlaces adicionales.

3.5 INVESTIGACIÓN DE EQUIPOS PARA REDES PON EN EL MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL.

Al empezar el año 2010, inicia también en el Ecuador la experimentación y la puesta en marcha de las redes PON, principalmente en la ciudad de Quito. Inicialmente, los equipos necesarios para la implementación de esta tecnología en nuestro país eran escasos, y primaba la adquisición de los mismos en el mercado internacional, sin embargo, ahora varias empresas ofrecen ya equipamiento para redes ópticas pasivas, a continuación se destacan las de mayor presencia en el mercado.

El tendido de fibra óptica, como se ha visto en los apartados anteriores, tiene referencia al cable que cumple con el conjunto de recomendaciones ITU-T G.652, en el Ecuador este cable puede ser adquirido en las empresas:

a) ANDEAN TRADE Group S.A

Ofrece soluciones de Comunicaciones Unificadas mediante productos y servicios integrados en el área de Telecomunicaciones y Redes Empresariales con el respaldo de Fabricantes de tecnología reconocidos a nivel mundial como CISCO, MOTOROLA, RADIO WAVES, BLUE COAT, PANDUIT, EXALT, COMMSCOPE.⁸

b) SETCOM CIA LTDA.

Dedicada a la comercialización y distribución de productos Eléctricos, de Cableado Estructurado y Telecomunicaciones para el mercado de la Industria, Construcción, Energético; manejando distintas marcas reconocidas en el sector, como: General Cable, SgnaMax,,Dexson, Panduit, Quest, Cablec, Brady, Beaucoup entre otras.⁹

c) GLOBAL TRADING ELECTRIC S.A

La empresa ofrece productos para el área industrial, eléctrica y de telecomunicaciones; para esta última, materiales y equipos para construcción y mantenimiento de redes de planta externa de cobre o fibra óptica.¹⁰

- Cables de fibra óptica

⁸ Fuente: <http://www.andean-trade.com/index.html>

⁹ Fuente: <http://www.setcom.com.ec/index.htm>

¹⁰ Fuente: <http://www.globalelectric.com.ec/productos/telecomunicaciones.html>

- Elementos pasivos para redes ópticas
- Equipo de prueba y medición
- Herramientas
- Kits de limpieza
- Máquinas para soplado de fibras

A nivel internacional, existe una infinidad de proveedores de cable de FO para este tipo de redes, sin embargo, para el mercado de telecomunicaciones ecuatoriano las empresas más representativas son:

a) CORNING

Corning inventó la primera fibra óptica de bajas pérdidas, comercialmente viable, en 1970. Hoy, Corning sigue siendo el líder del mercado global, en la industria del cableado de fibra óptica.

Corning ofrece una completa variedad de fibras monomodo y multimodo para todas las aplicaciones de red. Los productos de Corning son reconocidos por su excelencia e innovación.

b) FUKURAWUA ELECTRIC CO., LTD.

Con su sede principal en Japón, y con un capital humano de aproximadamente 45000 empleados en todo el mundo, el cable de fibra óptica de esta compañía se ha convertido rápidamente en la variedad asiática más importada en los últimos dos años en el Ecuador.

En el ámbito de las telecomunicaciones, su principal oferta consiste en: cable de fibra óptica, dispositivos ópticos semiconductores, cables para aplicaciones electrónicas, componentes ópticos, equipos de red, equipos para comunicaciones de radio y todo tipo de accesorios para el tendido de cable de fibra óptica.

c) SHENZHEN JIAFU OPTICAL COMMUNICATION CO., LTD.

Fue establecida en 2001 con sede en Shenzhen, China. Esta compañía se especializa en la fabricación y comercialización de cable de fibra óptica y dispositivos de red como: patchcords, pigtails, conectores, adaptadores, atenuadores, acopladores, splitters, paneles de conexión, cierre de empalmes de fibra,

convertidores de medios de comunicación y otros productos relacionados con las redes de fibra óptica.

Conjuntamente con FUKURAWUA, es considerado como uno de los productores de fibra óptica más importantes de Asia.

En lo que respecta al equipamiento activo, en el mercado nacional es prácticamente nula la presencia de un proveedor específicamente dedicado a este tipo de productos, sin embargo, existen sociedades o importadores particulares, como es el caso de OPTYTECH *Tecnologías de comunicación*, que se dedican a la importación y venta de equipamiento activo para redes PON.

Las empresas internacionales son las verdaderas apoderadas del mercado nacional, ya que ofrecen una amplia variedad de equipos activos para soluciones PON. Estas empresas han desarrollado una serie de productos y soluciones que abarcan todos los detalles relacionados con la implementación de una red pasiva. Adicionalmente, cuentan con una amplia gama de documentación relacionada con estadísticas y pruebas de campo que, de cierta forma, podrían resolver los problemas que se presentan al entregar un servicio de estas características.

Fabrican terminales ópticos de línea (OLT) para su uso en nodos de red y unidades de red óptica (ONT) para uso como equipo terminal del abonado; estos equipos son capaces de proporcionar servicios de televisión por cable, servicios de datos de banda ancha, servicios de telefonía y todas las aplicaciones de alto nivel que pueden funcionar en redes de banda ancha. Entre las empresas más representativas del mercado se señalan:

- a) TELLABS
- b) PACIFIC BROADBAND NETWORKS
- c) FIBER HOME
- d) AD-NET TECHNOLOGY CO., LTD.

3.6 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MIGRACIÓN HACIA REDES BPON.

Del análisis realizado en el apartado 3.3, se obtendrá un listado de todos los elementos necesarios para la implementación de la red BPON, esto con la finalidad de fijar precios

referenciales en el mercado y poder contar con un valor de inversión real para la puesta en marcha de la red.

La tabla 3.8 muestra el detalle de elementos y equipos a considerarse:

Tabla. 3.8.Planta Externa, elementos y equipos necesarios para la implementación de una red BPON

Planta Externa. Elementos y equipos necesarios para la implementación de una red BPON			
ELEMENTO	CANTIDAD	P/ UNITARIO	P/ TOTAL
Tellabs 1000 – DMAX 1120			
ACC-DMAX 1120WW	1	\$742,00	\$ 742,00
ACC-FAA	1	\$ 660,00	\$ 660,00
ACC-FDP 12 (SC)	1	\$223,00	\$ 223,00
ACC-CPU-3	2	\$ 649,00	\$ 1.298,00
ACC-L-PSU	2	\$ 135,00	\$ 270,00
ACC-IPMI-3	1	\$ 668,00	\$ 668,00
ACC-GBE 221 SX/SX	2	\$ 1.670,00	\$ 3.340,00
ACC-1U FAN TRAY KIT	1	\$ 185,00	\$ 185,00
Tarjeta PON TELLABS			
ACC-PON2	10	\$ 1.855,00	\$ 18.550,00
ONT 611i TELLABS	320	\$ 300,00	\$ 96.000,00
2IN/DESL/Patch45°/ 36ptos/OUTFront	2	\$ 50,00	\$ 100,00
FOMonomodo ADSS G,652D 36 hilos	25000	\$ 1,44	\$ 36.000,00
FOMonomodo ADSS G,652D 6 hilos	10000	\$ 0,92	\$ 9.200,00

TYCO FIST-GCO2				
FIST-GCO2-BC1 6-GV	Cierre de Empalme FO con 1 entrada oval y 16 accesos a cable, no incluye sello oval, no incluye bandejas de empalme	12	\$ 432,25	\$ 5.187,00
FIST-SOSA2-4SE-S	Modulo de 4 bandejas de empalme 12 FO	1	\$ 45,13	\$ 45,13
FIST-GCO2-CSEAL 1INT	Sello de acceso redondo (1 cable)	16	\$ 22,80	\$ 364,80
FIST-GCO2-OSK-LTS	Sello de puerto oval con soporte metalico 2 cables	1	\$ 37,05	\$ 37,05
SMOUV	Manguitos Termocontraibles 40 m	16	\$ 0,45	\$ 7,20
TYCO 400 A4				
FOSC-400-A4-12-1	Manga de empalme tipo Domo 12 Fusiones incluye: 1 bandeja de empalme de 12, 12 manguitos	3	\$ 190,00	\$ 570,00
Preformado de retención tipo A		200	\$ 3,70	\$ 740,00
Abrazadera poste con herraje tipo A		200	\$ 4,70	\$ 940,00
Herraje suspensión tipo B		400	\$ 2,20	\$ 880,00
FIST-SASA2 18-1P-L		10	\$ 176,00	\$ 1.760,00
FIST-SASA2 14-1P-L		80	\$ 158,00	\$ 12.640,00

Patch SC/UPC - SC/UPC, SM, 3m	72	\$ 5,97	\$ 429,84
Pigtail SC/UPC, SM, 3m	72	\$ 4,32	\$ 311,04
TOTAL			\$191.148,06

Cabe señalar que los precios especificados en la tabla anterior son reales y se basan en información recopilada en el mercado a través de cotizaciones, las mismas que se adjuntan en los anexos de este documento.

Con un total de **\$191.148,06** se ha considerado todo lo necesario para implementar la red de planta externa, además del equipo final en el cliente. Para esta última compra se adquieren 320 ONT BPON de tal forma que aunque la red, inicialmente, no de servicios a la totalidad de su capacidad, los equipos finales ya se encuentren en bodega listos para ser instalados y evitar así retrasar la instalación por temas de stock.

Adicional a lo expuesto, es necesario considerar los costos que se generan debido a la mano de obra para la instalación de la red, estos han sido tomados de la tabla de precios que utiliza una empresa contratista de la ciudad de Quito, cuyo trabajo se centra, al igual que el objetivo de este proyecto, en el sector comercial y empresarial.

Tabla. 3.9. Costos referenciales de mano de obra para implementación de la red de Planta Externa

Costos referenciales de mano de obra para implementación de la red de Planta Externa		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIOS REFERENCIALES
Tendido de Cable Aéreo/Canalizado	m	\$ 0,34
Desinstalación de cables de F.O. y/o CU Multipar de 10 hasta 150 pares aéreo	m	\$ 0,34
Relevamiento para tendido de cables de F.O. Aéreos o canalizados	U	\$ 114,22
Instalación de herraje tipo A y Tipo B de retención para cable ADSS	U	\$ 1,10

Instalación de juego preformado con accesorios para sujeción al poste	U	\$	8,80
Instalación Manga	U	\$	45,69
Montaje de ODF o Caja Terminal de Cliente	U	\$	10,00
Fusión de hilo de fibra (Valor por hilo)	U	\$	14,50
Certificación del hilo de Fibra Óptica	HILO	\$	14,50
Soporte técnico. Disposición de un técnico con kit de herramientas para actividades varias.	DÍA	\$	90,00

Con la referencia anterior, se ha calculado un costo total para la implementación de la red diseñada, en base a la ubicación de los elementos pasivos dentro de la red de FO de Planta Externa y lo detallado en la tabla 3.8.

Tabla. 3.10.Costo total de implementación de la red de Planta Externa

Costo total de implementación de la red de Planta Externa			
DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	CANTIDAD	V. TOTAL
Relevamiento para tendido de cables de F.O. Aéreos	\$ 114,22	1	\$ 114,22
Tendido de Cable Aéreo FO 36 hilos	\$ 0,34	25000	\$ 8.500,00
Tendido de Cable Aéreo FO 6 hilos	\$ 0,34	10000	\$ 3.400,00
Instalación de herraje tipo A de retención para cable ADSS	\$ 1,10	200	\$ 220,00
Instalación de herraje tipo B	\$ 1,10	400	\$ 440,00
Instalación de juego preformado con accesorios para sujeción al poste	\$ 8,80	200	\$ 1.760,00
Instalación Manga	\$ 45,69	15	\$ 685,35
Montaje de ODF	\$ 10,00	2	\$ 20,00
Fusión de hilo de fibra (Valor por hilo)	\$ 14,50	522	\$ 7.569,00
		TOTAL	\$ 22.708,57

Luego de obtener estos dos totales importantes, se tiene un referencial de inversión inicial total, que luego será utilizado para el cálculo financiero.

Tabla. 3.11.Inversión inicial total BPON

BPON	ELEMENTOS	INSTALACION RED	TOTAL
INVERSION TOTAL	\$ 191.148,06	\$ 22.708,57	\$ 213.856,63

Todo lo considerado hasta este punto, hace referencia a la red de backbone que soportará el servicio para los clientes, a excepción de las ONT adquiridas con anticipación; por lo que se hace necesario tomar también en cuenta, el costo que representa la instalación del servicio para cada cliente. Este costo no será tomado en cuenta para el análisis financiero, ya que será cubierto por el cliente en su totalidad.

Tabla. 3.12.Costo para implementación de servicio por cliente (mano de obra)

Costo para implementación de servicio por cliente (mano de obra)			
ELEMENTO	CANTIDAD	P/ UNITARIO	P/ TOTAL
Preformado de retención tipo A	6	\$ 1,10	\$ 6,60
Herraje suspensión tipo B	14	\$ 1,10	\$ 15,40
Monomodo ADSS G,652D 6 hilos	1000	\$ 0,34	\$ 340,00
Instalación y prueba de equipos activos	1	\$ 45,00	\$ 45,00
TOTAL			\$ 400,40

Finalmente, para abarcar todo lo referente a salida de capital, se debe considerar que para administrar la red y mantener la operatividad íntegra de la misma, es necesario tomar en cuenta el recurso humano y por ende, los costos de mantenimiento de la red. Inicialmente se contará con un técnico y un ingeniero cuya principal responsabilidad es velar por la estabilidad de la red y el correcto funcionamiento del servicio en el cliente. A partir del tercer año de operación de la red y de acuerdo al crecimiento de la propuesta, se contratará un técnico y un ingeniero más. Los sueldos referenciales a pagar por servicios profesionales en nómina se detallarán en el flujo neto del análisis financiero.

En cuanto al mantenimiento de la red, se ha realizado el cálculo de acuerdo a los precios referenciales de la tabla 3.9.

Tabla. 3.13.Costo de mantenimiento de la red de planta externa anual.

Costo de mantenimiento de la red de Planta Externa anual			
DESCRIPCIÓN	V x 2 DÍAS	U/AÑO	V. TOTAL
Disposición de un técnico con kit de herramientas para actividades varias.	\$ 180,00	4	\$ 720,00

El mantenimiento consiste en una intervención de 2 días cada tres meses. Esta actividad está relacionada con reparaciones preventivas, no se consideran los costos que se generen por reposición de elementos robados o por daños sobre la infraestructura de la red, sin embargo, si se incluye el costo por reparación y fusión de hasta 6 hilos de fibra rotos. En el análisis de flujo neto se considerará la intervención simultánea de 4 técnicos, con la finalidad de abarcar toda la red.

Una vez que se han detallado todos los costos generados, dentro de los ingresos se indicarán los valores que empresas prestadoras de este tipo de servicios, perciben por enlaces desplegados en el sector. Los costos indicados son reales y el manejo de depreciación se basa en estudios de mercado realizados por estas mismas empresas.

Tabla. 3.14.Precios referenciales del servicio por capacidad del canal.

Precios referenciales del servicio por capacidad del canal					
INTERNET	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
1024Kbps	\$ 150,00	\$ 138,00	\$ 126,96	\$ 116,80	\$ 107,46
2048Kbps	\$ 270,00	\$ 248,40	\$ 228,53	\$ 210,25	\$ 193,43
3072Kbps	\$ 405,00	\$ 372,60	\$ 342,79	\$ 315,37	\$ 290,14
4096Kbps	\$ 540,00	\$ 496,80	\$ 457,06	\$ 420,49	\$ 386,85
5120Kbps	\$ 675,00	\$ 621,00	\$ 571,32	\$ 525,61	\$ 483,57
DATOS					
1024Kbps	\$ 120,00	\$ 110,40	\$ 101,57	\$ 93,44	\$ 85,97
2048Kbps	\$ 216,00	\$ 198,72	\$ 182,82	\$ 168,20	\$ 154,74

3072Kbps	\$ 324,00	\$ 298,08	\$ 274,23	\$ 252,29	\$ 232,11
4096Kbps	\$ 432,00	\$ 397,44	\$ 365,64	\$ 336,39	\$ 309,48
5120Kbps	\$ 540,00	\$ 496,80	\$ 457,06	\$ 420,49	\$ 386,85

Se maneja un porcentaje de depreciación del 8% anual, basado en disminución de costos de materia prima y equipos, más no en aspectos inherentes al servicio o su desempeño. El cálculo de precios se realiza duplicando el valor del servicio antecedente y restando el 10% del mismo; así, si un servicio de internet a 1Mbps cuesta \$ 150, uno de 2Mbps costará \$ 270. Para casos en los que se requiera un ancho de banda mayor a 5Mbps, se realizará el cálculo de forma similar, a excepción de que se otorgará un descuento del 15%.

Estos valores difieren además del tipo de contrato y de la cantidad de enlaces que el cliente haya adquirido, por lo que cabe recalcar que los precios mostrados son referenciales.

3.6.1 PROYECCIÓN FINANCIERA EN EL MEJOR ESCENARIO

Una vez que se han detallado todas las variables a considerar tanto en los egresos como ingresos del proyecto, es necesario realizar una proyección de venta, que basada en las definiciones del análisis de sensibilidad, den una visión a futuro de la rentabilidad del proyecto y facilite la toma de decisiones.

Como primer punto se ha considerado un escenario en el que la red BPON diseñada alcanza el límite máximo de capacidad de operación, es así que, el crecimiento de enlaces soportados dentro de la red alcanza a partir del segundo año de operación un número superior a la capacidad individual de la red BPON (320 enlaces) y desde el cuarto año opera al 100% de su capacidad (640 enlace), es decir, cada cliente contrataría un enlace de datos y uno de internet, independientemente de la capacidad contratada. La tabla 3.15 muestra detalladamente dicha proyección. Cabe señalar en este punto que, la proyección se realizó a 5 años debido a que con la constante evolución tecnológica, seguramente en 5 años las alternativas de prestación de servicios de este tipo, hayan sido mejoradas y se deba renovar la tecnología de la red.

Tabla. 3.15.Proyección de ventaBPON (mejor escenario).

Proyección de venta del servicio (Mejor escenario)																
INTERNET	C 1	AÑO 1	SUBTOTAL 1	C 2	AÑO 2	SUBTOTAL 2	C 3	AÑO 3	SUBTOTAL 3	C 4	AÑO 4	SUBTOTAL 4	C 5	AÑO 5	SUBTOTAL 5	TOTAL
1024Kbps	50	\$ 150,00	\$ 7.500,00	60	\$ 138,00	\$ 8.280,00	90	\$ 126,96	\$ 11.426,40	100	\$ 116,80	\$ 11.680,32	100	\$ 107,46	\$ 10.745,89	
2048Kbps	40	\$ 270,00	\$ 10.800,00	50	\$ 248,40	\$ 12.420,00	80	\$ 228,53	\$ 18.282,24	80	\$ 210,25	\$ 16.819,66	80	\$ 193,43	\$ 15.474,09	
3072Kbps	25	\$ 405,00	\$ 10.125,00	35	\$ 372,60	\$ 13.041,00	45	\$ 342,79	\$ 15.425,64	50	\$ 315,37	\$ 15.768,43	50	\$ 290,14	\$ 14.506,96	
4096Kbps	10	\$ 540,00	\$ 5.400,00	20	\$ 496,80	\$ 9.936,00	50	\$ 457,06	\$ 22.852,80	50	\$ 420,49	\$ 21.024,58	50	\$ 386,85	\$ 19.342,61	
5120Kbps	5	\$ 675,00	\$ 3.375,00	8	\$ 621,00	\$ 4.968,00	30	\$ 571,32	\$ 17.139,60	40	\$ 525,61	\$ 21.024,58	40	\$ 483,57	\$ 19.342,61	
DATOS																
1024Kbps	80	\$ 120,00	\$ 9.600,00	90	\$ 110,40	\$ 9.936,00	130	\$ 101,57	\$ 13.203,84	165	\$ 93,44	\$ 15.418,02	165	\$ 85,97	\$ 14.184,58	
2048Kbps	50	\$ 216,00	\$ 10.800,00	60	\$ 198,72	\$ 11.923,20	100	\$ 182,82	\$ 18.282,24	100	\$ 168,20	\$ 16.819,66	100	\$ 154,74	\$ 15.474,09	
3072Kbps	15	\$ 324,00	\$ 4.860,00	25	\$ 298,08	\$ 7.452,00	25	\$ 274,23	\$ 6.855,84	30	\$ 252,29	\$ 7.568,85	30	\$ 232,11	\$ 6.963,34	
4096Kbps	10	\$ 432,00	\$ 4.320,00	20	\$ 397,44	\$ 7.948,80	20	\$ 365,64	\$ 7.312,90	20	\$ 336,39	\$ 6.727,86	20	\$ 309,48	\$ 6.189,64	
5120Kbps	1	\$ 540,00	\$ 540,00	4	\$ 496,80	\$ 1.987,20	4	\$ 457,06	\$ 1.828,22	5	\$ 420,49	\$ 2.102,46	5	\$ 386,85	\$ 1.934,26	
SUBTOTAL	286		\$ 67.320,00	372		\$ 87.892,20	574		\$ 132.609,72	640		\$ 134.954,42	640		\$ 124.158,06	\$ 549.160,40

Utilizando los datos obtenidos en el análisis anterior, se elabora un flujo de caja neto con la finalidad de calcular variables financieras globales de factibilidad del proyecto. El flujo de caja se detalla en la tabla 3.16. Como se puede observar, adicional a las variables ya detalladas, se han agregado tres consideraciones adicionales:

1. En los ingresos, un valor de recuperación cuya inherencia se relaciona con el valor que se puede rescatar de la inversión inicial, en el caso de que se decida renovar la tecnología y por ende reemplazar los equipos activos, pero manteniendo toda la red pasiva de planta externa.
2. En los egresos, un costo de daños y desperfectos, esto con la finalidad de fijar un aproximado del costo generado por el reemplazo de equipos en mal estado o corte del tendido de FO y reemplazo de tramos del mismo. En este valor se ha considerado el mismo porcentaje de depreciación utilizado en la proyección.
3. Finalmente, y también en los egresos, un costo de desinstalación, ligado directamente con los costos que se generan al desinstalar todos los equipos a los que se hace referencia en el primer punto.

Luego de contar con todos estos parámetros, se procede con el cálculo de las variables financieras: valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR). Estos indicadores miden la factibilidad del proyecto y su rentabilidad durante cierto período, en este caso, 5 años. Inicialmente, a manera de resumen, se detallan los parámetros más importantes dentro del cálculo.

Tabla. 3.16.Flujo de caja neto BPON (mejor escenario).

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS					
Servicios	\$ 67.320,00	\$87.892,20	\$132.609,72	\$134.954,42	\$124.158,06
Recuperación					\$ 50.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ 67.320,00	\$87.892,20	\$132.609,72	\$134.954,42	\$174.158,06
EGRESOS					
Mantenimiento de red	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00
Sueldo Técnico 1	\$ 700,00	\$ 800,00	\$ 1.000,00	\$ 1.400,00	\$ 1.600,00
Sueldo Técnico 2			\$ 800,00	\$ 1.100,00	\$ 1.300,00
Sueldo Ingeniero 1	\$ 1.000,00	\$ 1.100,00	\$ 1.400,00	\$ 2.000,00	\$ 2.200,00
Sueldo Ingeniero 2			\$ 1.200,00	\$ 1.700,00	\$ 1.900,00
Daños y desperfectos	\$ 16.400,00	\$15.088,00	\$ 13.880,96	\$ 12.770,48	\$ 11.748,84
Desinstalación					\$ 5.000,00
TOTAL EGRESOS	\$ 20.980,00	\$19.868,00	\$ 21.160,96	\$ 21.850,48	\$ 26.628,84
FLUJO NETO	\$ 46.340,00	\$68.024,20	\$111.448,76	\$113.103,93	\$147.529,22

Tabla. 3.17.Inversión total Red BPON.

BPON	ELEMENTOS	INSTALACION RED	TOTAL
INVERSION TOTAL	\$ 191.148,06	\$ 22.708,57	\$ 213.856,63

Tabla. 3.18.Flujo neto total Red BPON.

FLUJO NETO				
AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
\$ 46.340,00	\$ 68.024,20	\$ 111.448,76	\$ 113.103,93	\$ 147.529,22

Para el cálculo de los indicadores es necesario fijar una tasa de descuento que, de acuerdo al movimiento comercial del mercado nacional, se fija entre el 8% y 11%, para este caso se utilizará una TD=9%. Utilitarios de Microsoft Office permiten rápidamente encontrar la TIR y el VAN utilizando como entradas los datos indicados en las tablas de resumen, es así que para este proyecto, y bajo este escenario, los indicadores son:

Tabla. 3.19.TIR y VAN en el mejor escenario BPON.

TASA DESCUENTO	9%
VAN	\$ 361.836,81
TIR	28%

Estos resultados sugieren una clara rentabilidad del proyecto bajo estas condiciones. Al haber obtenido una TIR superior a la tasa de descuento planteada y un VAN de \$361.836,81, el proyecto puede ser realizado.

3.6.2 PROYECCIÓN FINANCIERA EN EL PEOR ESCENARIO

Bajo las mismas premisas del análisis anterior, se ha planteado como el peor escenario, el obtenido cuando la red alcanza un máximo de 320 enlaces, es decir, cada cliente contrató solamente uno de los dos servicios, empezando con menos de la mitad de la capacidad individual de la red en el primer año y, llegando a 320 enlaces en el cuarto año de operación de la red. Al igual que en el caso anterior, el cálculo de sensibilidad se realiza a 5 años.

Tabla. 3.20.Proyección de ventaBPON (peor escenario).

Proyección de venta del servicio (Peor escenario)																
INTERNET	C1	AÑO 1	SUBTOTAL 1	C2	AÑO 2	SUBTOTAL 2	C3	AÑO 3	SUBTOTAL 3	C4	AÑO 4	SUBTOTAL 4	C5	AÑO 5	SUBTOTAL 5	TOTAL
1024Kbps	35	\$ 150,00	\$ 5.250,00	50	\$ 138,00	\$ 6.900,00	60	\$ 126,96	\$ 7.617,60	70	\$ 116,80	\$ 8.176,22	70	\$ 107,46	\$ 3.761,06	
2048Kbps	20	\$ 270,00	\$ 5.400,00	35	\$ 248,40	\$ 8.694,00	40	\$ 228,53	\$ 9.141,12	65	\$ 210,25	\$ 13.665,97	65	\$ 193,43	\$ 3.868,52	
3072Kbps	20	\$ 405,00	\$ 8.100,00	35	\$ 372,60	\$ 13.041,00	40	\$ 342,79	\$ 13.711,68	45	\$ 315,37	\$ 14.191,59	45	\$ 290,14	\$ 5.802,78	
4096Kbps	10	\$ 540,00	\$ 5.400,00	15	\$ 496,80	\$ 7.452,00	20	\$ 457,06	\$ 9.141,12	30	\$ 420,49	\$ 12.614,75	30	\$ 386,85	\$ 3.868,52	
5120Kbps	2	\$ 675,00	\$ 1.350,00	5	\$ 621,00	\$ 3.105,00	8	\$ 571,32	\$ 4.570,56	10	\$ 525,61	\$ 5.256,14	10	\$ 483,57	\$ 967,13	
DATOS																
1024Kbps	35	\$ 120,00	\$ 4.200,00	50	\$ 110,40	\$ 5.520,00	60	\$ 101,57	\$ 6.094,08	50	\$ 93,44	\$ 4.672,13	50	\$ 85,97	\$ 3.008,85	
2048Kbps	15	\$ 216,00	\$ 3.240,00	20	\$ 198,72	\$ 3.974,40	25	\$ 182,82	\$ 4.570,56	30	\$ 168,20	\$ 5.045,90	30	\$ 154,74	\$ 2.321,11	
3072Kbps	8	\$ 324,00	\$ 2.592,00	10	\$ 298,08	\$ 2.980,80	10	\$ 274,23	\$ 2.742,34	10	\$ 252,29	\$ 2.522,95	10	\$ 232,11	\$ 1.856,89	
4096Kbps	5	\$ 432,00	\$ 2.160,00	5	\$ 397,44	\$ 1.987,20	5	\$ 365,64	\$ 1.828,22	5	\$ 336,39	\$ 1.681,97	5	\$ 309,48	\$ 1.547,41	
5120Kbps	2	\$ 540,00	\$ 1.080,00	5	\$ 496,80	\$ 2.484,00	5	\$ 457,06	\$ 2.285,28	5	\$ 420,49	\$ 2.102,46	5	\$ 386,85	\$ 773,70	
SUBTOTAL	152		\$ 38.772,40	230		\$ 56.138,40	273		\$ 61.702,56	320		\$ 69.930,08	320		\$ 27.775,99	\$ 255.462,02

Bajo estas nuevas consideraciones, se ha elaborado un nuevo flujo de caja, claramente afectado por las variaciones en los ingresos.

Tabla. 3.21. Flujo de caja neto BPON (peor escenario).

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS					
Servicios	\$ 30.132,00	\$51.653,40	\$ 61.702,56	\$ 69.930,08	\$ 21.586,35
Recuperación					\$ 50.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ 30.132,00	\$51.653,40	\$ 61.702,56	\$ 69.930,08	\$ 71.586,35
EGRESOS					
Mantenimiento de red	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00
Sueldo Técnico 1	\$ 700,00	\$ 800,00	\$ 1.000,00	\$ 1.400,00	\$ 1.600,00
Sueldo Técnico 2			\$ 800,00	\$ 1.100,00	\$ 1.300,00
Sueldo Ingeniero 1	\$ 1.000,00	\$ 1.100,00	\$ 1.400,00	\$ 2.000,00	\$ 2.200,00
Sueldo Ingeniero 2			\$ 1.200,00	\$ 1.700,00	\$ 1.900,00
Daños y desperfectos	\$ 16.400,00	\$15.088,00	\$ 13.880,96	\$ 12.770,48	\$ 11.748,84
Desinstalación					\$ 5.000,00
TOTAL EGRESOS	\$ 20.980,00	\$19.868,00	\$ 21.160,96	\$ 21.850,48	\$ 26.628,84
FLUJO NETO	\$ 9.152,00	\$31.785,40	\$ 40.541,60	\$ 48.079,59	\$ 44.957,51

Manteniendo el proceso indicado en el apartado anterior, se obtienen los siguientes valores en los indicadores financieros:

Tabla. 3.22. TIR y VAN en el peor escenario BPON.

TASA DESCUENTO	9%
VAN	\$ 141.436,65
TIR	-4%

Como se puede observar, el cálculo de la TIR refleja un valor negativo, lo que obviamente impide la realización del proyecto bajo estas circunstancias. Este resultado está ligado directamente con la cantidad de enlaces a los que se dan servicio con la red; debido a que recién en el cuarto año de operación, a un año de un posible cambio de tecnología, la red alcanza la máxima capacidad de operación individual, es decir 320 servicios se

atienden con una red que puede soportar el doble de dicha capacidad. Con estos resultados, una red BPON representa una buena inversión, siempre y cuando se explote la máxima capacidad de operación, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que para el valor de inversión inicial se consideró la compra de todas las ONT es decir, 320 equipos, sin embargo, como se observa en la tabla 3.20, el peor escenario inició con 152 enlaces, lo cual sugiere que de comprarse solamente las ONT necesarias para iniciar la operación, el valor de la inversión inicial se reduce en aproximadamente \$ 48.000,00, lo cual dispara el ingreso en el primer año y por ende el valor de los indicadores, haciendo factible al proyecto.

3.7 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MIGRACIÓN HACIA REDES GPON.

Basado en los mismos procedimientos aplicados para los cálculos de la red BPON, para la GPON se parte de un presupuesto total para la implementación de la red, tomando en cuenta que la red pasiva a utilizarse es exactamente igual en ambos casos. La diferencia radica en el equipamiento activo, cuyos costos son claramente más elevados. La tabla 3.23 muestra el detalle de precios para la implementación de la red GPON.

Tabla. 3.23.Planta Externa. Elementos y equipos necesarios para la implementación de una red GPON.

Planta Externa. Elementos y equipos necesarios para la implementación de una red GPON				
ELEMENTO		CANTIDAD	P/UNITARIO	P/TOTAL
OLT Hi-FOCuS				
F-152 MSAN				
KIT F152 ROW	Chasis	1	\$1.700,00	\$1.700,00
SFP TRANSCEIVER 500M MM ROW	Tarjeta para energía	1	\$ 200,00	\$ 200,00
HBNI 42	Tarjeta controladora y Giga	2	\$2.350,00	\$4.700,00
SFP TRANSCEIVER	Modulos SFP para los puertos Giga	2	\$ 50,00	\$ 100,00

500M MM ROW				
Tarjeta tributaria				
GPON GPLT4				
GPLT-4E CLASS 3.1E ROW	Tarjeta GPLT4	10	\$ 6.400,00	\$64.000,00
ONT B-FOCuS O- 1G		640	\$ 490,00	\$313.600,00
2IN/DESL/Patch4 5°/36ptos/OUTFro nt		2	\$ 50,00	\$ 100,00
Monomodo ADSS G,652D 36 hilos		25000	\$ 1,44	\$ 36.000,00
Monomodo ADSS G,652D 6 hilos		10000	\$ 0,92	\$ 9.200,00
TYCO FIST –				
GCO2				
FIST-GCO2-BC1 6-GV	Cierre de Empalme FO con 1 entrada oval y 16 accesos a cable, no incluye sello oval, no incluye bandejas de empalme	12	\$ 432,25	\$ 5.187,00
FIST-SOSA2- 4SE-S	Modulo de 4 bandejas de empalme 12 FO	1	\$ 45,13	\$ 45,13
FIST-GCO2- CSEAL 1INT	Sello de acceso redondo (1 cable)	16	\$ 22,80	\$ 364,80
FIST-GCO2-OSK- LTS	Sello de puerto oval con soporte metalico 2 cables	1	\$ 37,05	\$ 37,05
SMOUV	Manguitos Termcontraibles 40m	16	\$ 0,45	\$ 7,20
TYCO 400 A4				

FOSC-400-A4-12-1	Manga de empalme tipo Domo 12 Fusiones incluye: 1 bandeja de empalme de 12, 12 manguitos	3	\$ 190,00	\$ 570,00
Preformado de retención tipo A		200	\$ 3,70	\$ 740,00
Abrazadera poste con herraje tipo A		200	\$ 4,70	\$ 940,00
Herraje suspensión tipo B		400	\$ 2,20	\$ 880,00
FIST-SASA2 18-1P-L		90	\$ 176,00	\$ 15.840,00
Patch SC/UPC - SC/UPC, SM, 3m		72	\$ 5,97	\$ 429,84
Pigtail SC/UPC, SM, 3m		72	\$ 4,32	\$ 311,04
TOTAL				\$454.952,06

En un total de \$ **454.952,06** se consideran todos los equipos y elementos necesarios para la puesta en marcha de la red. Al igual que en las consideraciones de la red BPON, se han adquirido los equipos de cliente en su totalidad, de forma que se instalen paulatinamente conforme la demanda lo exija.

Considerando que para la instalación de la red GPON se utilizará la misma mano de obra, entonces, los costos de instalación de la red son los mismos \$ 22.708,57. Además, en lo referente al recurso humano para soportar la operación de la red, se continuará con la misma disposición.

Tabla. 3.24. Inversión total para implementación de la red GPON.

GPON	ELEMENTOS	INSTALACION RED	TOTAL
INVERSION TOTAL	\$ 454.952,06	\$ 22.708,57	\$ 477.660,63

Dado que para el cliente final el tipo de tecnología que se utilice en fibra óptica para proveerle el servicio es irrelevante, los precios que se cobrarán por los enlaces son los mismos que se detallaron para la red BPON. Es necesario subrayar que estos valores difieren además, del tipo de contrato y de la cantidad de enlaces que el cliente haya adquirido, por lo que los precios mostrados son referenciales.

Con los valores de operación e inversión señalados, se procede con el análisis financiero de la propuesta, considerando el mejor y peor escenario.

3.7.1 PROYECCIÓN FINANCIERA EN EL MEJOR ESCENARIO

Para este análisis es necesario recordar que para una red GPON la cantidad de enlaces soportados, a la máxima capacidad de la red es de 1280, el doble de la capacidad considerada para la red BPON. Es así, que para el mejor escenario se ha estimado que la red llega a su tope máximo de capacidad a partir del cuarto año de operación, iniciando con una concentración de servicios de la mitad del total.

Tabla. 3.25.Proyección de ventaGPON (mejor escenario).

Proyección de venta del servicio (Mejor escenario)																
INTERNI	C1	AÑO 1	SUBTOTAL 1	C2	AÑO 2	SUBTOTAL 2	C3	AÑO 3	SUBTOTAL 3	C4	AÑO 4	SUBTOTAL 4	C5	AÑO 5	SUBTOTAL 5	TOTAL
1024Kbps	100	\$ 150,00	\$ 15.000,00	180	\$ 138,00	\$ 24.840,00	250	\$ 126,96	\$ 31.740,00	300	\$ 116,80	\$ 35.040,96	300	\$ 107,46	\$ 32.237,68	
2048Kbps	90	\$ 270,00	\$ 24.300,00	140	\$ 248,40	\$ 34.776,00	180	\$ 228,53	\$ 41.135,04	200	\$ 210,25	\$ 42.049,15	200	\$ 193,43	\$ 38.685,22	
3072Kbps	60	\$ 405,00	\$ 24.300,00	90	\$ 372,60	\$ 33.534,00	110	\$ 342,79	\$ 37.707,12	130	\$ 315,37	\$ 40.997,92	130	\$ 290,14	\$ 37.718,09	
4096Kbps	50	\$ 540,00	\$ 27.000,00	60	\$ 496,80	\$ 29.808,00	70	\$ 457,06	\$ 31.993,92	80	\$ 420,49	\$ 33.639,32	80	\$ 386,85	\$ 30.948,18	
5120Kbps	20	\$ 675,00	\$ 13.500,00	35	\$ 621,00	\$ 21.735,00	45	\$ 571,32	\$ 25.709,40	60	\$ 525,61	\$ 31.536,86	60	\$ 483,57	\$ 29.013,91	
DATOS												\$ -			\$ -	
1024Kbps	150	\$ 120,00	\$ 18.000,00	200	\$ 110,40	\$ 22.080,00	230	\$ 101,57	\$ 23.360,64	250	\$ 93,44	\$ 23.360,64	250	\$ 85,97	\$ 21.491,79	
2048Kbps	80	\$ 216,00	\$ 17.280,00	85	\$ 198,72	\$ 16.891,20	90	\$ 182,82	\$ 16.454,02	100	\$ 168,20	\$ 16.819,66	100	\$ 154,74	\$ 15.474,09	
3072Kbps	50	\$ 324,00	\$ 16.200,00	60	\$ 298,08	\$ 17.884,80	70	\$ 274,23	\$ 19.196,35	80	\$ 252,29	\$ 20.183,59	80	\$ 232,11	\$ 18.568,91	
4096Kbps	30	\$ 432,00	\$ 12.960,00	40	\$ 397,44	\$ 15.897,60	50	\$ 365,64	\$ 18.282,24	60	\$ 336,39	\$ 20.183,59	60	\$ 309,48	\$ 18.568,91	
5120Kbps	10	\$ 540,00	\$ 5.400,00	13	\$ 496,80	\$ 6.458,40	17	\$ 457,06	\$ 7.769,95	20	\$ 420,49	\$ 8.409,83	20	\$ 386,85	\$ 7.737,04	
SUBTOTAL	640		\$ 173.940,00	903		\$ 223.905,00	1112		\$ 253.348,68	1280		\$ 272.221,54	1280		\$ 250.443,81	\$ 1.178.434,03

A primera vista se puede observar como el panorama cambia con respecto a lo obtenido en el caso de BPON; los ingresos en el primer año de la red GPON superan por casi el 150% a los proyectados en el período similar en la red BPON, y dado que la capacidad de la red es mucho mayor, se alcanza un total de ingreso bruto de \$ 1.178.434,03 en 5 años de operación. A continuación se procede con el cálculo de los indicadores financieros a fin de confirmar lo que hasta el momento se ha podido observar.

Partiendo del flujo neto indicado a continuación, se utiliza el mismo proceso ya indicado para obtener la TIR y VAN del proyecto.

Cabe mencionar que, estas variables por si solas no son concluyentes, por lo que es necesario el análisis previo de sensibilidad y flujo de caja, -realizado en este documento- para cumplir su verdadera función.

Tabla. 3.26.Flujo de caja neto GPON (mejor escenario).

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS					
Servicios	\$173.940,00	\$223.905,00	\$253.348,68	\$ 272.221,54	\$ 250.443,81
Recuperación					\$ 50.000,00
TOTAL INGRESOS	\$173.940,00	\$223.905,00	\$253.348,68	\$ 272.221,54	\$ 300.443,81
EGRESOS					
Mantenimiento de red	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00
Sueldo Técnico 1	\$ 700,00	\$ 800,00	\$ 1.000,00	\$ 1.400,00	\$ 1.600,00
Sueldo Técnico 2			\$ 800,00	\$ 1.100,00	\$ 1.300,00
Sueldo Ingeniero 1	\$ 1.000,00	\$ 1.100,00	\$ 1.400,00	\$ 2.000,00	\$ 2.200,00
Sueldo Ingeniero 2			\$ 1.200,00	\$ 1.700,00	\$ 1.900,00
Daños y desperfectos	\$ 24.500,00	\$ 22.540,00	\$ 20.736,80	\$ 19.077,86	\$ 17.551,63
Desinstalación					\$ 5.000,00
TOTAL EGRESOS	\$ 29.080,00	\$ 27.320,00	\$ 28.016,80	\$ 28.157,86	\$ 32.431,63
FLUJO NETO	\$144.860,00	\$196.585,00	\$225.331,88	\$244.063,68	\$ 268.012,19

Tabla. 3.27.TIR y VAN en el mejor escenario GPON.

TASA DESCUENTO	9%
VAN	\$ 819.448,70
TIR	31%

Como se esperaba, los indicadores financieros confirman la rentabilidad del proyecto con un TIR=31%, 22 puntos más alto que la tasa de descuento. Esto refleja, porque las empresas prefieren las soluciones bajo este tipo de tecnología, en términos comerciales.

Con estos resultados, es necesario considerar un ambiente de cálculo menos optimista para evaluar el verdadero impacto de esta tecnología como un negocio rentable.

3.7.2 PROYECCIÓN FINANCIERA EN EL PEOR ESCENARIO

En el peor escenario, se asumirá que la red llega como máximo a la mitad de su capacidad total, es decir, 640 enlaces; se podría presumir que el escenario es aún optimista, dada la comparación con la red BPON, sin embargo, una mayor capacidad permite una mayor oferta de servicios y, tomando en cuenta que lo óptimo que se debería conseguir es 1280 enlaces, tomar como referencia 640 servicios, es un número comercialmente desalentador y por tanto, un criterio de evaluación aceptable.

La proyección se venta en base a criterios de sensibilidad, en esta ocasión se realizó como indica la tabla 3.27.

Tabla. 3.28.Proyección de ventaGPON (peor escenario).

Proyección de venta del servicio (Peor escenario)																
INTERNIT	C1	AÑO 1	SUBTOTAL 1	C2	AÑO 2	SUBTOTAL 2	C3	AÑO 3	SUBTOTAL 3	C4	AÑO 4	SUBTOTAL 4	C5	AÑO 5	SUBTOTAL 5	TOTAL
1024Kbps	110	\$ 150,00	\$ 16.500,00	120	\$ 138,00	\$ 16.560,00	140	\$ 126,96	\$ 17.774,40	150	\$ 116,80	\$ 17.520,48	150	\$ 107,46	\$ 16.118,84	
2048Kbps	70	\$ 270,00	\$ 18.900,00	80	\$ 248,40	\$ 19.872,00	90	\$ 228,53	\$ 20.567,52	100	\$ 210,25	\$ 21.024,58	100	\$ 193,43	\$ 19.342,61	
3072Kbps	50	\$ 405,00	\$ 20.250,00	60	\$ 372,60	\$ 22.356,00	70	\$ 342,79	\$ 23.995,44	80	\$ 315,37	\$ 25.229,49	80	\$ 290,14	\$ 23.211,13	
4096Kbps	45	\$ 540,00	\$ 24.300,00	55	\$ 496,80	\$ 27.324,00	65	\$ 457,06	\$ 29.708,64	70	\$ 420,49	\$ 29.434,41	70	\$ 386,85	\$ 27.079,65	
5120Kbps	30	\$ 675,00	\$ 20.250,00	33	\$ 621,00	\$ 20.493,00	38	\$ 571,32	\$ 21.710,16	40	\$ 525,61	\$ 21.024,58	40	\$ 483,57	\$ 19.342,61	
DATOS																
1024Kbps	70	\$ 120,00	\$ 8.400,00	80	\$ 110,40	\$ 8.832,00	90	\$ 101,57	\$ 9.141,12	100	\$ 93,44	\$ 9.344,26	100	\$ 85,97	\$ 8.596,72	
2048Kbps	30	\$ 216,00	\$ 6.480,00	40	\$ 198,72	\$ 7.948,80	45	\$ 182,82	\$ 8.227,01	50	\$ 168,20	\$ 8.409,83	50	\$ 154,74	\$ 7.737,04	
3072Kbps	10	\$ 324,00	\$ 3.240,00	14	\$ 298,08	\$ 4.173,12	18	\$ 274,23	\$ 4.936,20	20	\$ 252,29	\$ 5.045,90	20	\$ 232,11	\$ 4.642,23	
4096Kbps	10	\$ 432,00	\$ 4.320,00	14	\$ 397,44	\$ 5.564,16	18	\$ 365,64	\$ 6.581,61	20	\$ 336,39	\$ 6.727,86	20	\$ 309,48	\$ 6.189,64	
5120Kbps	7	\$ 540,00	\$ 3.780,00	7	\$ 496,80	\$ 3.477,60	9	\$ 457,06	\$ 4.113,50	10	\$ 420,49	\$ 4.204,92	10	\$ 386,85	\$ 3.868,52	
SUBTOTAL	432		\$ 126.420,00	503		\$ 136.600,68	583		\$ 146.755,60	640		\$ 147.966,29	640		\$ 136.128,99	\$ 696.237,57

Con estos datos, se obtuvo el flujo neto que se indica a continuación. Aquí, se han considerado también los costos que se generan debido a daños y reemplazo de equipos en la red, además de recuperación y desinstalación en el caso de que se considere el upgrade

de tecnología y por ende, reemplazo de equipamiento activo. Los valores detallados en el flujo dependen directamente del análisis de proyección detallado anteriormente.

Tabla. 3.29.Flujo de caja neto GPON (peor escenario).

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS					
Servicios	\$ 126.420,00	\$136.600,68	\$146.755,60	\$ 147.966,29	\$ 136.128,99
Recuperación					\$ 50.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ 126.420,00	\$136.600,68	\$146.755,60	\$ 147.966,29	\$ 186.128,99
EGRESOS					
Mantenimiento de red	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00	\$ 2.880,00
Sueldo Técnico 1	\$ 700,00	\$ 800,00	\$ 1.000,00	\$ 1.400,00	\$ 1.600,00
Sueldo Técnico 2			\$ 800,00	\$ 1.100,00	\$ 1.300,00
Sueldo Ingeniero 1	\$ 1.000,00	\$ 1.100,00	\$ 1.400,00	\$ 2.000,00	\$ 2.200,00
Sueldo Ingeniero 2			\$ 1.200,00	\$ 1.700,00	\$ 1.900,00
Daños y desperfectos	\$ 24.500,00	\$ 22.540,00	\$ 20.736,80	\$ 19.077,86	\$ 17.551,63
Desinstalación					\$ 5.000,00
TOTAL EGRESOS	\$ 29.080,00	\$ 27.320,00	\$ 28.016,80	\$ 28.157,86	\$ 32.431,63
FLUJO NETO	\$ 97.340,00	\$109.280,68	\$118.738,80	\$ 119.808,44	\$ 153.697,36

Como se puede observar, existe una clara superioridad en cuanto al flujo neto obtenido en el peor escenario BPON, esto dado que la capacidad de la red GPON es mucho más alta, convirtiéndola en una buena opción comercial, como lo muestran los indicadores financieros calculados a continuación.

Tabla. 3.30.TIR y VAN en el peor escenario GPON.

TASA DESCUENTO	9%
-----------------------	-----------

VAN	\$ 484.975,39
TIR	10%

Como lo indica la TIR, pese a que el porcentaje obtenido es apenas mayor a la tasa de descuento, sugiere que el proyecto es factible aunque las proporciones de ganancia no tengan comparación con las obtenidas en el mejor escenario. Al contrario de lo que reflejan los indicadores en el caso BPON, el proyecto de implementación de una red GPON es comercialmente más viable ya que aunque se dimensionen las ganancias en el peor escenario, el negocio sigue siendo aceptable.

Adicionalmente a los números expuestos, GPON representa una alternativa más robusta y estable en comparación con BPON. De la experiencia adquirida en el ámbito laboral, GPON es una red con menos problemas de estabilidad y cuyo desempeño en altas capacidades es mucho mejor que con la ya explotada red BPON. Actualmente, las empresas que prestaban este último tipo de servicios, están de a poco migrando sus enlaces a redes GPON ya que como se ha podido confirmar en este estudio, la red pasiva es perfectamente útil para ambas tecnologías.

Finalmente, los análisis especificados en este documento son un referente ya que para ambos casos los cálculos son realizados a criterio personal con información recopilada de una empresa prestadora de servicios en la ciudad de Quito, sin embargo, si los datos de entrada se varían, es posible reflejar la realidad de otro tipo de proyecto y convertir en factible lo que para este caso no lo fue; para ejemplificar la afirmación, se podría considerar que el recurso humano es menor, o que los equipos activos de cliente se compran progresivamente, incluso variar los precios de venta del servicio o disminuir el porcentaje de depreciación, todas estas modificaciones repercutirán directamente en los ingresos y podrán reflejar realidades comerciales distintas.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La evolución que hace algunos años prometía la tecnología xDSL, hoy en día se ha visto truncada debido a la aparición y posicionamiento de las tecnologías xPON; las limitaciones en la relación entre ancho de banda y distancia han impedido el crecimiento de las redes de cobre en la ciudad de Quito, sobre todo en el sector comercial, sin embargo, en lo referente a la prestación masiva de servicios, la oferta se mantiene en tanto el despliegue de red aumente y así los costos disminuyan.
- La creciente demanda de servicios de telecomunicaciones en el Ecuador ha alcanzado su punto más alto en los últimos años, sin embargo, esta no puede ser cubierta en su totalidad debido a la deficiencia de recursos tecnológicos y a la truncada escalabilidad de las redes de telefonía fija, que han alcanzado sus niveles máximos de operación en cuanto a despliegue de red, haciéndose necesaria la implementación de nuevas alternativas.
- La sustitución total de la red de telefonía por una nueva tecnología, requiere de una inversión masiva que, desde el punto de vista del usuario, no se adapta a las tarifas

que se quiere o se puede pagar, es por eso que, es indispensable que alternativas relacionadas con nuevas tecnologías, como la fibra óptica, se multipliquen en el mercado; esto abaratará los costos, tanto para el proveedor como para el usuario.

- En las mediciones realizadas sobre el tendido de cobre de prueba, se pudieron evidenciar las verdaderas limitaciones de la tecnología, bajo las condiciones de medición, no es posible alcanzar velocidades superiores a 1.6Mbps al aproximarse a los 3Km de distancia; esto es una condición general en las redes de cobre.
- Las redes ópticas pasivas representan una gran ventaja de implementación con respecto a las redes punto a punto debido a que los recursos son aprovechados de forma óptima, utilizando un solo puerto en el equipo activo para dar servicio hasta a 128 clientes y por ende, un solo hilo de fibra óptica para dicho volumen de enlaces; esto representa un ahorro bastante significativo, desde el punto de vista del proveedor.
- La aplicación de la ordenanza LMU40 en el Distrito Metropolitano, ha mejorado considerablemente la distribución del tendido de cables en la ciudad; actualmente se cuenta con etiquetas que claramente identifican al propietario del cable, facilitando el reporte en caso de problemas evitando así la afectación masiva de servicios, además de mejorar el ornamento de la ciudad.
- A diferencia de las redes BPON, en las redes GPON, se mejora notablemente el desempeño de la red respecto de su capacidad de transmisión y escalabilidad; con capacidades en el orden de los Gbps y soporte de hasta 128 enlaces por puerto PON, esta tecnología es ideal para las aplicaciones con una alta demanda de recursos en cuanto a ancho de banda; en el diseño realizado, se puede ver claramente la mejora en cuanto a proyección de servicios, aumentando en un 100% la cantidad de enlaces soportados con respecto a la red BPON.
- A pesar de sus ventajas operativas, un daño en planta externa en una red óptica pasiva involucra la afectación masiva de servicios, debido a la cantidad de enlaces que se pueden transportar por un cable de 6 hilos de fibra óptica; este inconveniente es una de las principales debilidades de la tecnología.

- La capacidad de enlaces que maneja la tecnología GPON es una de sus principales fortalezas, ya que este parámetro influyó directamente en los cálculos financieros y determinó la factibilidad o no de la realización del proyecto.
- Con los resultados obtenidos en el cálculo de los indicadores financieros para el peor escenario en la red BPON, se puede afirmar que comercialmente, la alternativa GPON es más sólida y permite la consolidación de un negocio rentable a futuro.
- Aunque los ingresos en una red GPON son mucho más grandes, la inversión inicial para este tipo de negocio es también más importante, con lo que se podría concluir que, variando los egresos del flujo neto, si se cuenta con un capital inicial menor, la red BPON representa una buena alternativa.

4.2 RECOMENDACIONES

- Los operadores de red y los gobiernos deben identificar los niveles inmediatos de demanda real y observar la demanda previsible en un futuro cerca, así como considerar la posible situación dentro de 20 años. Tendrían que identificarse las tecnologías necesarias a largo plazo y mejorar el desarrollo y modificaciones de las redes teniendo en cuenta la arquitectura requerida en el futuro.
- Debido a la geografía de la ciudad de Quito, específicamente de la zona de prioridad A, se recomienda la utilización de cable de fibra óptica monomodo; como se pudo observar en el cálculo de ancho de banda, el factor distancia no es representativo al momento de aprovechar al máximo las características de transmisión de la fibra óptica.
- En el diseño de una red óptica pasiva es recomendable utilizar un bajo nivel de splitteo, esto debido a que a mayor nivel de splitteo, mayor pérdida por inserción y, como se pudo observar en los cálculos del diseño, este es el valor más representativo y por ende, más limitante a la hora de la implementación de este tipo de tecnología.
- Tomando en cuenta que el análisis de sensibilidad se realizó a 5 años, y que los resultados obtenidos para el caso de la red GPON son bastante aceptables, es

recomendable considerar que la proyección se prolongue a un período más largo, dada la rentabilidad que el negocio promete futuro y la escalabilidad de la red diseñada.

- Para evitar el repunte negativo de la TIR en el caso de la red BPON, es recomendable disminuir los egresos, de tal forma que para la operación de la red se disminuya el recurso humano, y además se adquieran solamente los equipos activos de clientes necesarios para iniciar con la operación. Esto generará un aumento significativo en el flujo neto anual y por ende dará factibilidad al proyecto.
- Si el capital para inversión inicial es mayor al planteado en este documento, en el caso de la red GPON, se recomienda utilizar un cable de fibra óptica de mayor capacidad en la red metropolitana, para de esta forma aumentar la capacidad de la red con mangas de acceso y niveles de splitteo adicionales; esto tomando en cuenta que, como lo indican los cálculos realizado, una pequeña inversión para aumentar el número de enlaces dentro de la red, puede significar un incremento bastante considerable en la rentabilidad del negocio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- All Optic Network Solutions. (Diciembre de 2012). *Fiber Networks*. Obtenido de <http://www.alloptic.com/products/fttp.php>
- Chomycz, B. (2000). *Fiber Optic Installer's field manual*. McGraw-Hill Professional.
- Elliot-Gilmore, B. M. (2002). *Fiber Optic Cabling*. Newnes.
- Govind P., A. (2002). *Fiber-Optic Communication Systems*. Jhon Wiley & Sons.
- Herrera, E. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. LIMUSA.
- Logroño Gómez, J. I. (Septiembre de 2008). Integración de las redes ópticas pasivas ethernet (EPON/GPON) con la tecnología WiMAX. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Mukherjee, B. (21 de Noviembre de 2010). Evaluating Strategies for Evolution of Passive Optical Networks. California, Estados Unidos: University of California.
- Oliviero-Woodward. (2009). *The complete guide to Copper and fiber-optic networking*. Indiana: Wiley Publishing Inc.
- Publications, U. I.-T. (Agosto de 2012). *UIT-T Recomendaciones de la serie G*. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>
- Social Media Fukurawa. (Octubre de 2012). *FUKURAWA*. Obtenido de <http://www.furukawa.com.br/ar/red-furukawa/materiales-de-apoyo/>
- ELLABS. (Enero de 2013). *Optical Networking Products*. Obtenido de <http://www.tellabs.com/products/optical.shtml>

Thyagarajan K., G. A. (2007). *Fiber Optics Essentials*. Wiley-IEEE.

Vásquez Venegas, J. L. (Diciembre de 2009). Estudio de las redes ópticas de banda ancha (BPON) y sus posibles aplicaciones en el país. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí,

Ing. Darío Duque Ms.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Dr. Jorge Carvajal.

SECRETARIO ACADÉMICO

Oscar Patricio Cevallos Chamorro

AUTOR