



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Urb. Montalbán – La Vega – Apartado 29068

Teléfono: 407-4493 Fax: 407-4590

Caracas, 1020 – Venezuela

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

Diseño de una red de transporte de fibra óptica que incremente la capacidad de tráfico de la red de una operadora móvil

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR: De Quintal F., Carlos D.

Fernández R., Henry J.

TUTOR: Ing. Jonathan Polly

FECHA: Caracas, 24 de septiembre de 2012

Hoja de Evaluación

Dedicatoria

Este proyecto representa una gran meta que he logrado concluir con éxito, todos los esfuerzos realizados en este Trabajo Especial de Grado fueron inspirados en mi madre, cuyo esfuerzo me llena de ganas de saber de todo un poco, que con su cariño, me inculcó amor a la familia, en mis tíos, primos, hermana y amigos, que me ayudaron a disfrutar cada momento de mi vida, a mi novia que mejoro mi forma de ver el mundo y a mi compañero de TEG por su apoyo incondicional y trabajo en equipo, finalmente a mi abuela que desde el cielo me cuida.

Gracias a la inspiración que provocaron en mi, pude culminar esta etapa, por eso mi trabajo se lo dedico a ustedes.

Henry José Fernández Rojas

Mi madre, mi padre y mi hermano. Siempre he dado por sentado su amor y apoyo incondicional, en este momento me doy cuenta que gracias a ese amor que nunca me desamparó, sin importar que hayamos pasado tiempos difíciles, siempre me supo guiar en este camino. Los amaré por siempre.

Mis abuelos, quienes a pesar de no entender mucho de que va mi carrera, siempre estuvieron allí apoyándome y consintiéndome. Gracias por todo su amor, espero que Dios les regale muchos años de vida para que permanezcan a mi lado.

Mi novia, aprovecharé esta oportunidad para decirte nuevamente que ¡te amo!. Gracias por llegar a mi vida cuando más te necesitaba, ahora vendrán nuevos tiempos para nosotros, nuestra historia apenas está comenzando.

Finalmente, Henry, estoy seguro de que nuestros caminos no se separan aquí. Gracias por tantos buenos momentos hermano querido, para mí ha sido un verdadero honor compartir todas las experiencias contigo.

Carlos Daniel De Quintal Falletta

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios, por permitirnos culminar esta meta con éxito.

Agradecemos a nuestros padres y familiares, por su apoyo en este logro de ser Ingenieros, por sus conocimientos para ayudarnos a tomar decisiones en nuestras vidas a nivel profesional y personal, por su fuerza para caminar a nuestro lado cursando una carrera y por acompañarnos en el camino.

A el Ing. Jonathan Polly, tutor de este Trabajo Especial de Grado por impartirnos sus conocimientos y guiarnos en el desarrollo del proyecto.

A la empresa Eprotel, C.A., por la oportunidad laboral y por ponernos al frente de este proyecto.

A la Universidad, por brindarnos una formación integral y por ser un pilar fundamental en nuestro desarrollo profesional.

Resumen

DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE DE FIBRA ÓPTICA QUE INCREMENTE LA CAPACIDAD DE TRÁFICO DE LA RED DE UNA OPERADORA MÓVIL

Fernández Rojas, Henry José

henfernandez@gmail.com

De Quintal Falletta, Carlos Daniel

carlosdequintal23@gmail.com

El diseño de una red de transporte de fibra óptica contempla la capa óptica y la capa de servicios, esto, con la finalidad de incrementar la capacidad de tráfico de la red de una operadora móvil. Es necesario analizar las especificaciones de los equipos, identificar los lugares y coordenadas geográficas de los sitios y calcular los parámetros y características de los enlaces de fibra óptica.

Los datos ofrecidos por la operadora incluyen la localización geográfica, características y tipo de cada uno de los nodos. La información es utilizada para evaluar las distancias entre ellos y clasificarlos como puntos de concentración o agregación de tráfico, esto para poder utilizar los equipos que mejor se adaptan al diseño logrando que sea costo-efectivo. El análisis competitivo y técnico de proveedores y sus soluciones ayudan a estudiar el mercado de soluciones de transporte óptico.

El uso de la tecnología de transporte DWDM permite generar el incremento de la capacidad de tráfico de la red, ya que mediante un cable de fibra se transportan distintos tipos de tráfico de las redes celulares existente y redes que se instalen a futuro logrando una mayor eficiencia en la red. La posibilidad de integrar OTN permite optimizar a través del tráfico IP.

Palabra Clave: DWDM, OTN, óptico, red y transporte.

Índice

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	viii
Introducción.....	x
Capítulo I Planteamiento del Proyecto	1
I.1 Planteamiento del Problema	1
I.2 Objetivos	3
I.2.1 Objetivo General	3
I.2.2 Objetivos Específicos	3
I.3 Justificación del Proyecto	4
I.4 Limitaciones y Alcances	5
Capítulo II Marco Teórico	7
II.1 Sistemas Celulares.....	8
II.1.1.2 Sistema GPRS	11
II.1.1.3 Sistemas EDGE	13
II.1.2.1 Sistema UMTS	14
II.1.2.2 Sistemas HSDPA.....	15
II.2 Sistemas de Transporte.....	15
II.2.1 Sistemas DWDM.....	17
II.2.1.1 Parámetros técnicos de la tecnología DWDM.....	18
II.2.1.2 Características de DWDM.....	19
II.2.1.3 Beneficios	21
II.2.1.4 Aplicaciones de la tecnología DWDM	22
II.2.1.5.1 Terminal Multiplexor Óptico (OTM).....	24
II.2.1.5.2 Amplificadores.....	25
II.2.1.5.3 Multiplexores	27
II.2.1.5.4 Transconectores Ópticos (OXC).....	29
II.2.1.6 Fibra óptica	31
II.2.1.7 Arquitectura de la tecnología DWDM	31
II.2.1.8 Ventajas de la tecnología DWDM	33
II.2.1.9 Canal de Control ó Supervisión	34
II.2.1.10 Evolución de la capa óptica	35
II.2.2 Redes Ópticas de Transporte OTN.....	36
II.2.2.1 ASON	37
II.2.2.2 Características de ASON	38
II.2.2.3 Planos de ASON	39

II.2.2.4 Enrutamiento y Señalización	41
II.2.2.5 Ventajas e inconvenientes de las ASON	41
Capítulo III Metodología.....	43
III.1 Fase de Investigación	44
III.2 Fase de estudio, análisis y desarrollo	45
III.3 Fase de Culminación	46
Capítulo IV Desarrollo	47
IV.1 Análisis competitivo y técnico	47
IV.2 Identificación de los nodos que integran el diseño de la red.....	49
IV.3 Análisis Cuantitativo de los enlaces ópticos	52
IV.4 Diseño de la red de transporte	57
Capítulo V Resultados.....	60
V.1 Análisis competitivo y técnico de los equipos ópticos.....	61
V.1.1 Análisis Competitivo de Alcatel-Lucent	61
V.1.1.2 Equipo 1850 TSS.....	62
V.1.1.3 Equipo 1696 Metro-Span.....	62
V.1.1.4 Equipo Metrópolis WSM	63
V.1.2 Huawei.....	64
V.1.2.1 Optix Metro 6100/6040 DWDM	64
V.1.3 Cisco	65
V.1.3.1 15454 MSTP.....	65
V.1.4 Tellabs.....	66
V.1.4.1 Tellabs 7100/7100N OTS	67
V.1.4.2 Tellabs 7300 Ethernet Edge Switch.....	68
V.2 Identificación de los nodos que integran el diseño de la red	69
V.2.1 Tramo San Juan de los Morros - Anaco	70
V.2.2 Tramo Anaco – Puerto La Cruz	71
V.2.3 Tramo Anaco – Maturín	71
V.2.4 Tramo Anaco – Puerto Ordaz	72
V.3 Análisis Cuantitativo de los enlaces ópticos	74
V.3.4 Dispersión Cromática (CD)	79
V.4 Diseño de la red de transporte	82
Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones.....	95
Bibliografía	99
Anexos	104

Índice de figuras

Figura 1. Esquema general del marco teórico del proyecto.....	7
Figura 2. Arquitectura genérica de una red celular	9
Figura 3. Arquitectura de Red GSM.....	11
Figura 4. Arquitectura de Red GPRS	13
Figura 5. Arquitectura de la Red UMTS.....	14
Figura 6. Esquema SDH	16
Figura 7. Esquema funcional de DWDM	18
Figura 8. Elementos que generan escalabilidad en DWDM).....	21
Figura 9. Topología punto-punto y Topología Anillo de DWDM.....	22
Figura 10. Esquema de operación de un enlace DWDM.....	24
Figura 11. Funcionamiento de un EDFA.....	26
Figura 12. OADM fijo	28
Figura 13. OXC Conmutador de fibra	30
Figura 14. OXC Conmutador de portadora.....	30
Figura 15. OXC Con traslación de longitud de onda	30
Figura 16. Arquitectura de difusión y selección	32
Figura 17. Arquitectura por ruteo de longitud de onda	33
Figura 18. Evolución de la capa óptica.....	35
Figura 19. Representación del control distribuido	39
Figura 20. Descripción de los planos de las OTN	39
Figura 21. Esquema con interfaces que comunican los distintos planos...	40
Figura 22. Flujo de fases y actividades del proyecto.....	43
Figura 23. Cuotas de Mercado	48
Figura 24. Tramos definidos en el proyecto con Google Earth	51
Figura 25. Enlace de fibra de los nodos de concentración utilizando el software 7196 OSP	54
Figura 26. Cálculo de los parámetros del enlace San Juan – El sombrero con 7196 OSP.....	56
Figura 27. Cálculo de los valores de potencia del enlace San Juan - El sombrero.....	56

Figura 28. Elementos que conforman el diseño de la red de transporte.	58
Figura 29. Etapas del diseño de la red de transporte	60
Figura 30. Tramos del proyecto	75
Figura 31. Esquema de interconexión de un nodo de concentración.	83
Figura 32. Conexión entre un nodo de agregación y un nodo de concentración.....	84
Figura 33. Estructura de los nodos Centrales.....	85
Figura 34.Diseño Capa óptica Tramo San Juan de Los Morros – Anaco..	87
Figura 35. Diseño Capa óptica Tramo Anaco – Puerto La Cruz.....	88
Figura 36. Diseño Capa óptica Tramo Anaco - Maturín	89
Figura 37. Diseño Capa óptica Tramo Anaco – Puerto Ordaz	90
Figura 38. Diseño Capa de servicios Tramo San Juan de Los Morros – Anaco	91
Figura 39. Diseño Capa de servicios Tramo Anaco – Puerto La Cruz.....	92
Figura 40. Diseño Capa de servicios Tramo Anaco – Maturín.....	93
Figura 41. Diseño Capa de servicios Tramo Anaco – Puerto Ordaz.....	94

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de OXC.....	30
Tabla 2. Arquitectura de las redes DWDM	32
Tabla 3. Planos de las redes de transporte ópticas	37
Tabla 4. Características de las redes ASON	38
Tabla 5. Descripción de los planos de las redes ópticas	40
Tabla 6. Ejemplo de Análisis competitivo basado en herramienta FODA	48
Tabla 7. Proveedores y principales desarrollos ópticos.....	49
Tabla 8. Tramos y localidades beneficiadas con el proyecto.....	50
Tabla 9. Configuraciones de los tramos del proyecto	53
Tabla 10. Parámetros de la fibra calculados con 7196 OSP	55
Tabla 11. Servicios soportados por la red.....	57
Tabla 12 Proveedores y Equipos para el análisis	61
Tabla 13. Alcatel-Lucent Equipo 1850 TSS	62
Tabla 14. Alcatel Equipo 1696 Metro-Span	63
Tabla 15. Alcatel-Lucent Equipo Metrópolis WSM	64
Tabla 16. Huawei Equipo Optix Metro 6100/6040.....	65
Tabla 17. Cisco Equipo 15454 MSTP	66
Tabla 18. Tellabs Equipo 7100/7100N OTS.....	67
Tabla 19. Tellabs Equipo 7325 Ethernet Edge Switch.....	68
Tabla 20. Consolidado de Distancias de cada tramo	69
Tabla 21. Distancias Tramo San Juan de los Morros – Anaco	70
Tabla 22. Distancias Tramo Anaco – Puerto La Cruz.....	71
Tabla 23. Distancia Tramo Anaco - Maturín	72
Tabla 24 Distancia Tramo Anaco – Puerto Ordaz	73
Tabla 25. Nodos de concentración San Juan de los Morros – Anaco	73
Tabla 26. Nodos de concentración tramo Anaco – Puerto La Cruz	73
Tabla 27. Nodos de concentración tramo Anaco – Maturín	74
Tabla 28. Nodos de concentración tramo Anaco – Puerto Ordaz	74
Tabla 29. Características de enlaces Tramo San Juan de los Morros – Anaco	76

Tabla 30. Características de los enlaces Tramo Anaco – Puerto La Cruz.	76
Tabla 31. Características de los enlaces Tramo Anaco – Maturín	76
Tabla 32. Características de los enlaces Tramo Anaco – Puerto Ordaz ...	76
Tabla 33. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo San Juan de los Morros – Anaco	77
Tabla 34. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Puerto La Cruz.....	77
Tabla 35. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Maturín.	77
Tabla 36. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Puerto Ordaz.....	77
Tabla 37. Pérdidas por PMD Tramo San Juan de los Morros – Anaco.....	78
Tabla 38. Pérdidas por PMD Tramo Anaco – Puerto La Cruz	78
Tabla 39. Pérdidas por PMD Tramo Anaco – Maturín	78
Tabla 40. Pérdidas por PMD Tramo Anaco –Puerto Ordaz	78
Tabla 41. Pérdidas por CD Tramo San Juan de los Morros – Anaco.....	79
Tabla 42. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Puerto La Cruz	79
Tabla 43. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Maturín	79
Tabla 44. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Puerto Ordaz	80
Tabla 45. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo San Juan de los Morros – Anaco	80
Tabla 46. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco – Puerto La Cruz.....	80
Tabla 47. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco – Maturín.....	81
Tabla 48. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco - Puerto Ordaz.....	81
Tabla 49. Valores de Potencia Tramo San Juan de los Morros - Anaco	81
Tabla 50. Valores de Potencia Tramo Anaco – Puerto La Cruz	81
Tabla 51. Valores de Potencia Tramo Anaco – Maturín	82
Tabla 52. Valores de Potencia Tramo Anaco – Puerto Ordaz	82
Tabla 53. Ubicación de los Nodos centrales	82

Introducción

En Venezuela las operadoras de telefonía celular planifican el crecimiento de la red en función de las necesidades del momento y del mercado. Los altos requerimientos de ancho de banda, producto de las múltiples sesiones de datos y circuitos en la red generan actualmente una sobrecarga de sus recursos. Con los servicios ofrecidos y los esperados a futuro se necesita una mayor eficiencia de la red en sus sistemas de transporte.

Es aquí donde se inspira el presente Trabajo Especial de Grado, mediante el diseño de una red de transporte de fibra óptica, que integre las tecnologías existentes y emergentes de la telefonía celular, permitiendo aumentar la capacidad de tráfico de la red y satisfacer las necesidades de ancho de banda con el fin de ofrecer una mejor calidad de servicio.

Gracias a los beneficios de las tecnologías de transporte *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, *Optical Transport Network (OTN)* y *Optical Add-Drop Multiplexing (OADM)*, se realiza un diseño que integra los esquemas celulares existentes utilizando fibra óptica, permitiendo ofrecer a los usuarios calidad de servicio.

Multiplexación por División de Longitud de onda Densa (DWDM) es una técnica de transporte de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550nm). Se utilizan varias señales portadoras (ópticas) se transmiten por una única fibra utilizando distintas longitudes de onda de un haz láser. Cada portadora óptica conforma un canal que puede ser tratado de forma independiente aunque comparta el mismo medio y contener diferentes tipos de tráfico. Gracias a este método se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra y también facilitar las comunicaciones bidireccionales.

Las Redes de Transporte Óptico (OTN) representan un conjunto de elementos de red ópticos conectados mediante fibra óptica, capaces de proveer transporte, multiplexación, gestión y supervisión de las señales ópticas. Este esquema de transporte, según la norma G.709, permite a los operadores preparar

el terreno para una infraestructura de red de servicios múltiples optimizada en el tráfico IP. Uno de los principales beneficios es que cuenta con capacidades de operación, administración y mantenimiento.

El Multiplexor Óptico de Inserción-Extracción (OADM) es un dispositivo usado en la los sistemas de multiplexación por división de longitud de onda y enrutamiento de los diferentes canales de luz que entran y salen de una fibra monomodo (SMF). Este tipo de nodo óptico se utiliza para añadir o eliminar uno o más canales de longitud de onda.

Este Trabajo Especial de Grado está estructurado en capítulos. El capítulo uno está constituido por el planteamiento de la problemática que genera el proyecto, los objetivos, generales y específicos, la justificación, los alcances y limitaciones que lo enmarcan. En el segundo capítulo se refleja la investigación basada en los esquemas de las redes celulares existentes, las tecnologías de transporte como DWDM, OTN y dispositivos OADM que sustenten el diseño.

En el capítulo tres se presentan las fases de la metodología. Se divide en tres fases: fase de investigación, Fase de estudio, análisis y desarrollo y la fase de culminación. En el cuarto capítulo se explica el desarrollo de cada fase de la metodología.

En el capítulo cinco se analizan los resultados obtenidos producto del desarrollo de la metodología. Dichos resultados están basados en el análisis competitivo de los equipos especializados, la identificación de los nodos que integran el diseño de la red, el análisis cuantitativo de los parámetros que afectan los enlaces de fibra, finalmente el diseño de la red basado en la capa óptica y en la capa de servicios. En el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

En este proyecto se presenta el diseño de la red tomando en cuenta el análisis de los equipos, de los parámetros involucrados en los enlaces de fibra y los nodos a utilizar.

Capítulo I

Planteamiento del Proyecto

Este capítulo muestra las causas y motivaciones que dan origen al Trabajo Especial de Grado, el objeto de estudio y la justificación que sustenta el proyecto, además las limitaciones y alcances necesarios para enmarcarlo.

El enfoque que presenta el proyecto va en función de integrar las tecnologías existentes y emergentes de las redes de telefonía celular y las redes de transmisión, apoyadas en fibra óptica, para ofrecer mejor calidad de servicio, ante la demanda cada vez mayor de ancho de banda, esto mediante el diseño de una red de transporte basada en DWDM.

I.1 Planteamiento del Problema

La 3GPP (*Three Generation Partnership Project*) define un conjunto de estándares y recomendaciones sobre la implementación de sistemas de telefonía móvil de 2da y 3ra generación. Las tecnologías de segunda generación involucradas en tales descripciones corresponden a GSM (*Global System for Mobile Communication*) y sus evoluciones tales como GPRS (*General Packet Radio Service*) y EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*), mientras que las asociadas a la tercera generación, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y su evolución HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Todos estos sistemas se definen como sistemas de telefonía móvil orientados a brindar a un amplio número de abonados, múltiples servicios asociados a diversos anchos de banda y calidad de servicio.

Las múltiples sesiones de datos y circuitos establecidas en una red GSM/UMTS para diferentes servicios implica un alto requerimiento del ancho de banda para las diversas interfaces. Dichas interfaces pueden utilizar diferentes tipos de protocolos, tales como ATM (Módulo de Transferencia Asíncrono), Ethernet, Frame Relay, PPP (Protocolo Punto a Punto), etc. generando en mayor o

menor medida una sobrecarga por el requerimiento de transmitir bytes de control, señalización, sincronización y protección, adicionales a la información de usuario.

Además de que las comunicaciones de voz requieren una cierta capacidad de recursos en la red, que no son nada despreciables, con respecto a la intensidad del tráfico telefónico, la transmisión de datos requiere cada vez más ancho de banda y calidad de servicio. Por ejemplo, en la actualidad se ha logrado la transmisión de video llamadas, navegación web, juegos interactivos, y se esperan cada vez nuevos servicios que se integran a la red ya existente. Con los servicios del ahora y los esperados a futuro, se puede apreciar que las sesiones de datos requieren una mayor eficiencia en la interfaz usuario-red, así como una mayor capacidad en sus sistemas de transporte.

Cabe destacar que el hecho de que se requiere una mayor cantidad de bits por segundo (bps) al implementar un nuevo servicio no implica que el costo que deba pagar el usuario deba crecer, todo lo contrario la relación ancho de banda costo es cada vez menor. Así se origina como consecuencia indudable para un operador encargado de proporcionar servicios de comunicaciones móviles la decisión de cómo optimizar su arquitectura de red ya instalada o por instalar de acuerdo al ancho de banda demandado por los usuarios.

Por lo general, la arquitectura de red móvil instalada puede estar basada en enlaces de microondas haciendo uso de sistemas de transmisión plesiócronicos y síncronicos conocidos respectivamente como PDH (Jerarquía Digital Plesiócrica) y SDH (Jerarquía Digital Síncrona). También se puede hacer uso de enlaces de fibra óptica ya sea no coloreada con señales SDH o coloreadas basadas en DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda densa) y CWDM (Multiplexación división aproximada de longitud de onda) portando no solo sistemas SDH si no plataformas MetroEthernet y MPLS (Multi-Protocolo por conmutación de etiquetas). Es obvio que dependiendo de la planta instalada, de los protocolos desplegados en las redes de 2G/3G y de los servicios ofrecidos, la operadora deberá de tomar la decisión correcta de cómo aumentar y optimizar la capacidad requerida en los sistemas de transmisión.

Lo anteriormente expuesto en conjunto a que la demanda de servicios no sólo ocurre en un nodo de acceso sino en toda una región o en el país, implica de alguna forma que uno o más enlaces de transmisión de alta capacidad requerirán una demanda mayor y nada despreciable en términos de bits por segundo.

En Venezuela las empresas de Telecomunicaciones que proporcionan servicios GSM/UMTS planifican el crecimiento de su arquitectura de red de acuerdo a las necesidades del momento y del mercado. En tal sentido surge la necesidad de diseñar una arquitectura de red utilizando medios ópticos que descongestionen el tráfico central de una operadora de servicios móviles hacia la ciudad de Caracas, aumentando así la capacidad para soportar el crecimiento acelerado de usuarios y servicios de voz y datos dentro de la red existente. Además proponer un esquema que permita soportar tecnologías emergentes que se adapten al crecimiento de la red móvil para ofrecer mejoras en la calidad de servicio.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo General

Diseñar una red de transporte de fibra óptica, que integre las tecnologías existentes y emergentes de la telefonía móvil, permitiendo aumentar la capacidad de tráfico de la red, satisfaciendo la creciente demanda de ancho de banda en los servicios de voz y datos y ofrecer así una mejor calidad de servicio y enlazar la región Centro- Oriental del país.

I.2.2 Objetivos Específicos

- a) Investigar los mecanismos involucrados en la capacidad de crecimiento de la red existente para mejorar la calidad de servicio de voz y datos de los clientes en la región centro-oriental del país.
- b) Incrementar la capacidad de tráfico en la región centro-oriental del país, para mejorar la calidad de servicio, garantizar la

desconcentración del tráfico y ofrecer nuevos servicios a los usuarios.

- c) Investigar los equipos de transporte óptico existentes en el mercado, mediante un análisis competitivo y de implementaciones a nivel mundial.
- d) Evaluar la propuesta de los equipos de transporte óptico que se adapte a las necesidades del cliente en función del incremento de la capacidad de tráfico y soporte de las tecnologías actuales y emergentes dentro del diseño de la red.
- e) Diseñar la red de transporte óptica, vista desde la capa óptica y la capa de servicios, que garantice el incremento en la capacidad de tráfico de los servicios ofrecidos por la red.

I.3 Justificación del Proyecto

El mundo de las comunicaciones, es un sector que a pesar de la actual crisis económica, mantiene un crecimiento y un desarrollo constante. Para mantener niveles altos de competitividad en el mercado, y fomentar el continuo desarrollo tecnológico y económico del sector, es fundamental que las empresas de telecomunicaciones inviertan recursos para ofrecer servicios de calidad, que puedan admitir cada vez a mayor cantidad de usuarios, además, intentando prestar tales servicios, no solo en las principales ciudades, sino en zonas más remotas del territorio.

Dar el soporte necesario para cubrir las demandas actuales y las demandas futuras que la operadora de telecomunicaciones requiere y requerirá de sus redes, es, en efecto, lo que se pretende lograr con el diseño de este proyecto de largo alcance, donde no solo proporcionará el soporte para mejorar la calidad de servicios de voz y datos actuales, sino que expandirá el límite de usuarios que podrán integrarse en el futuro para disfrutar de tales servicios, siendo los

principales beneficiados los usuarios de la región centro-oriental del país, específicamente los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Bolívar, así como sus principales ciudades y poblados.

De esta manera, impulsamos el crecimiento de las telecomunicaciones, conectando a más personas, mejorando su calidad de vida y contribuyendo así con el desarrollo económico y social del país donde las telecomunicaciones juegan un rol fundamental.

I.4 Limitaciones y Alcances

Por condiciones contractuales y de confidencialidad entre las empresas involucradas (la compañía encargada del diseño de la red, y la compañía operadora de telefonía móvil), hemos de mantener para fines de este trabajo, como información clasificada, la identidad de la compañía operadora de telefonía móvil (compañía que administrará la red diseñada), así como también, el nombre exacto de los lugares donde se implementarán los nodos de la red.

La operadora móvil proveerá de toda la información necesaria para la evaluación de los parámetros ópticos a utilizar y las coordenadas de los sitios.

La red se piensa con la intención de garantizar el soporte de ancho de banda necesario para la futura integración de la empresa operadora de telefonía móvil a la red de cuarta generación (4G), así como también deberá soportar el actual crecimiento de la red de tercera generación (3G) de telefonía móvil en la que actualmente se prestan servicios. Por último, deberá asimilar todo el tráfico que generan los usuarios que continúan obteniendo servicios de la red de segunda generación (2G) de telefonía móvil.

El alcance de este proyecto se limitará al diseño y no a la implementación de la red, sólo considerará enlaces basados estrictamente en conexiones de fibras ópticas, equipos de transporte y gestión ópticos y enlaces eléctricos, excluyendo enlaces de microondas y demás interconexiones. De igual manera, el diseño sólo involucra el diagrama del anillo de fibra que manejará todo el tráfico una vez este

ha sido totalmente concentrado, sin necesidad de involucrarnos con las etapas de acceso a la red.

El alcance geográfico del anillo de fibra está comprendido en un área que involucra a los estados Bolívar, Monagas y Anzoátegui, de donde se beneficiará toda la región centro oriental del país, incluido el Distrito Capital. Una vez diseñada la estructura de fibra óptica, la ejecución del proyecto y el tiempo estimado para su implementación, estará determinado y a cargo de la empresa operadora de telefonía móvil.

Capítulo II

Marco Teórico

Las redes ópticas y el uso de nuevas tecnologías celulares permiten alcanzar requerimientos de la evolución en redes. Por esta razón en el presente capítulo se explica en detalle la evolución de los sistemas de telefonía celular existentes y emergentes, así como las redes de transmisión basadas en fibra óptica y los elementos de interconexión adaptados para concentrar grandes capacidades de tráfico de datos e incrementar la capacidad de la red ofreciendo cada vez una mejor calidad de servicio.

En la figura 1 se consolida un esquema sobre las características y sistemas que conforman las redes celulares de 2da, 3ra y 4ta generación y también las redes de transporte de datos basadas en fibra óptica que resultan una opción viable para la concentración y manejo de dichos datos, tomando en cuenta una infraestructura existente y la necesidad de adaptarla.

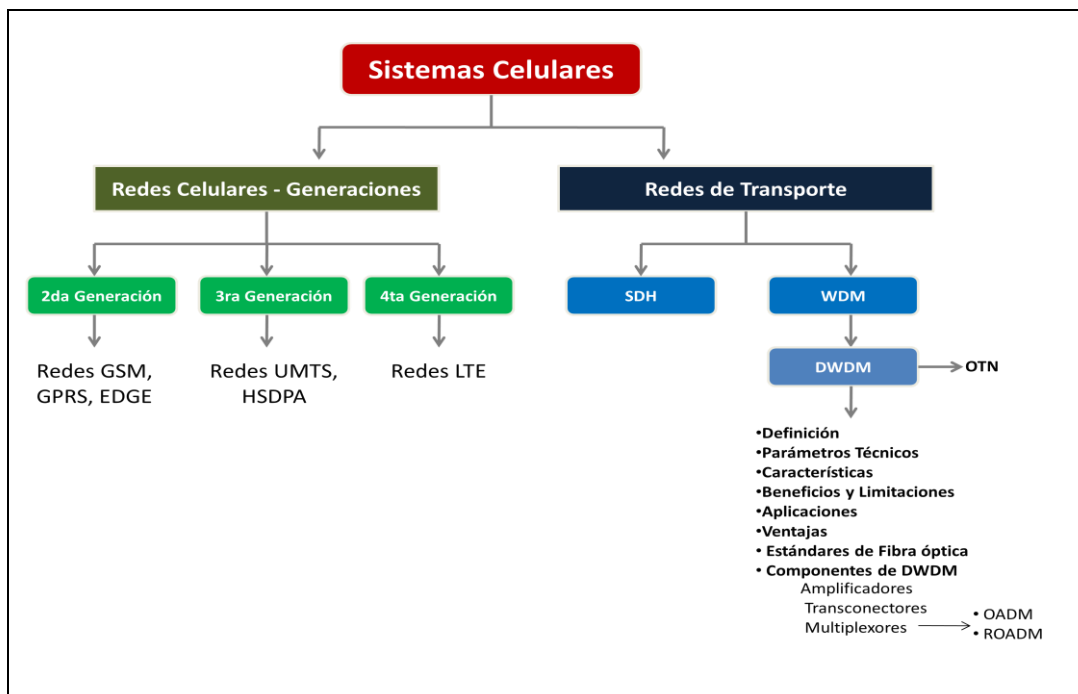


Figura 1. Esquema general del marco teórico del proyecto (Fuente Propia)

II.1 Sistemas Celulares

Cuando se habla de tecnologías GSM, UMTS o LTE, indudablemente se debe hacer referencia a los sistemas celulares, que indiscutiblemente generan una división de una gran superficie de cobertura en un conjunto de células o celdas.

Este sistema permite que las celdas se sigan subdividiendo en otras más pequeñas conocidas como sectores, esto no sólo trae como inconveniente un mayor grado de complejidad al momento de gestionar el sistema, ya que el usuario se encuentra en la total libertad de moverse entre celdas lo que obliga a que la transmisión que se está realizando en una celda o sector deba conmutar a nuevos recursos de la celda o sector a la que está accediendo, este proceso es mejor conocido como *handover*. (Lingyang & Jia, 2011)

Todo esto requiere de una infraestructura que se puede dividir en distintos sistemas más básicos, que a medida que se van ajustando a las tecnologías y van evolucionando en función de los servicios que pueden ofrecer, generan una mejor calidad de servicio.

Lo anterior, llevó a hablar de generaciones, a medida que estas arquitecturas eran optimizadas ofreciendo diferentes y mejores servicios como mayores anchos de banda se puede hablar de pasar a una nueva generación (Hernandez A. , (2005)). En la actualidad se suelen enmarcar en cuatro generaciones y clasificar en función de sus capacidades. Para el objeto de estudio del presente Trabajo Especial de Grado, se consolida a continuación la investigación de los sistemas celulares existentes, como las redes de 2da y 3ra generación, y las emergentes, como LTE (4ta generación).

En la figura 2 se especifica la arquitectura general para una red celular, basadas en el dispositivo del usuario, la red de acceso, que es la integra al usuario a la red de servicios y la red troncal que comunica al usuario hacia otras redes.

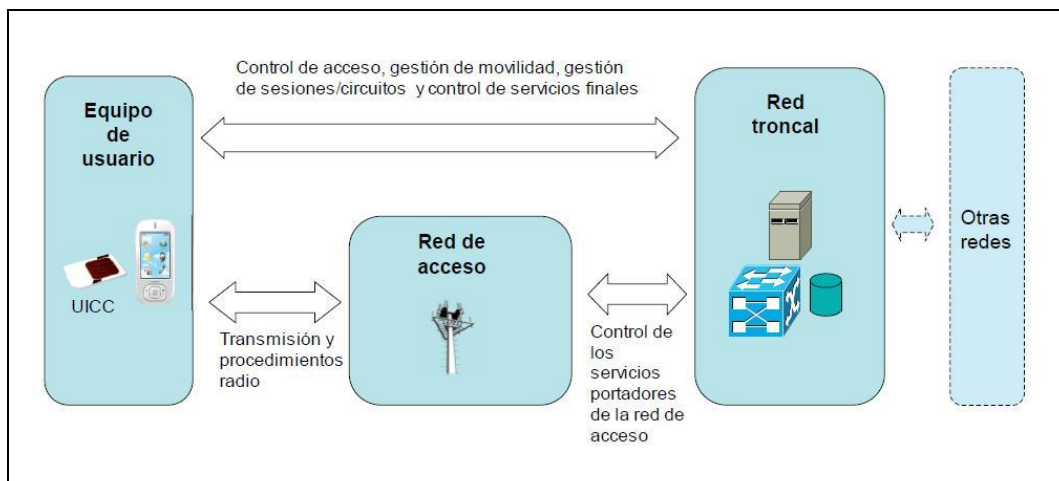


Figura 2. Arquitectura genérica de una red celular (Agusti, 2010)

II.1.1 Redes GSM/GPRS/EDGE

Estas redes denominadas de 2da generación comprenden GSM y su evolución.

II.1.1.1 Sistemas GSM

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles GSM (*Global System for Mobile Communications*), es el más amplio en el mundo en lo que a telefonía móvil respecta. Para ofrecer el servicio de telefonía móvil al usuario final este sistema se compone de cuatro subsistemas con características específicas cada uno, se tiene: (Hernandez A. , 2000)

- a) **La Estación Móvil (MS):** abarca todos los elementos utilizados por el abonado del servicio, éste a su vez también se divide en cuatro elementos.
- Terminal Móvil (MT): estos se delimitan dependiendo de su máxima potencia de emisión.
 - Módulo de Identidad del suscriptor (SIM): es una tarjeta inteligente que almacena información, una de forma permanente y otra de forma temporal.

- El adaptador de Terminal (TA): es el que permite la conexión entre el terminal móvil y un equipo terminal de datos.
 - Equipo terminal de datos (TE): la configuración entre el equipo terminal y el software es trabajo del driver de interconexión con el teléfono móvil.
- b) **Subsistema de estación base (BSS):** Es el encargado de los aspectos de radio para este sistema, dentro de él se encuentran las BTS (Estación Base Transmisora) y las BSC (Estación Base Controladora) que conforman lo que se conoce como BSS. La conexión entre la BTS y BSC está definida como la interfaz Abis de acuerdo a la 3GPP (Hernandez A. , 2000). El subsistema BSS es el encargado de separar el sistema de acceso radio del sistema inteligente de conmutación que a continuación se describirá.
- c) **Subsistema de Red y Conmutación (NSS):** No solo es el encargado de permitirle a los usuarios establecer la comunicación hacia otros móviles de la misma red a través de las MSC o de otras operadoras usando las GMSC mediante la conmutación, sino también el de permitir el control sobre los diferentes servidores de cobro, recarga, buzón de voz y mensajería, sistemas de registros, sistemas de autenticación, entre otros (Sánchez Gonzáles, 2012).
- d) **Subsistema de operación y mantenimiento (OSS):** Su trabajo es solucionar los problemas y fallos que aparezcan o monitorear y mejorar la configuración de los equipos para un mayor rendimiento.
- e) **Interfaces de Sistema GSM:** La manera en que están dispuestos los elementos anteriormente nombrados y la comunicación que hay entre ellos es lo que permite establecer comunicación móvil entre los abonados. Las interfaces de tráfico y señalización más relevantes son: Um, Abis y A (Sánchez Gonzáles, 2012). El sistema de señalización N°7, SS7, es el que se utiliza mayormente.

- f) **Interfaz radio en GSM:** Este define la disposición de los canales lógicos de funcionamiento del sistema GSM sobre los canales físicos o radiofrecuencias utilizadas. GSM es un sistema FDMA/TDMA que trabaja con dos bandas de frecuencia (FDD), los canales lógicos asignados a este se dividen en canales de tráfico, utilizados para el transporte de la información del usuario (Mouly, 2012).
- g) **Elementos de Información en GSM:** son la tarjeta SIM, que ya nombramos anteriormente, las bases de datos VLR y HLR y el centro de autenticación de terminales móviles.

En la figura 3 se muestra la arquitectura de la Red de 2da Generación.

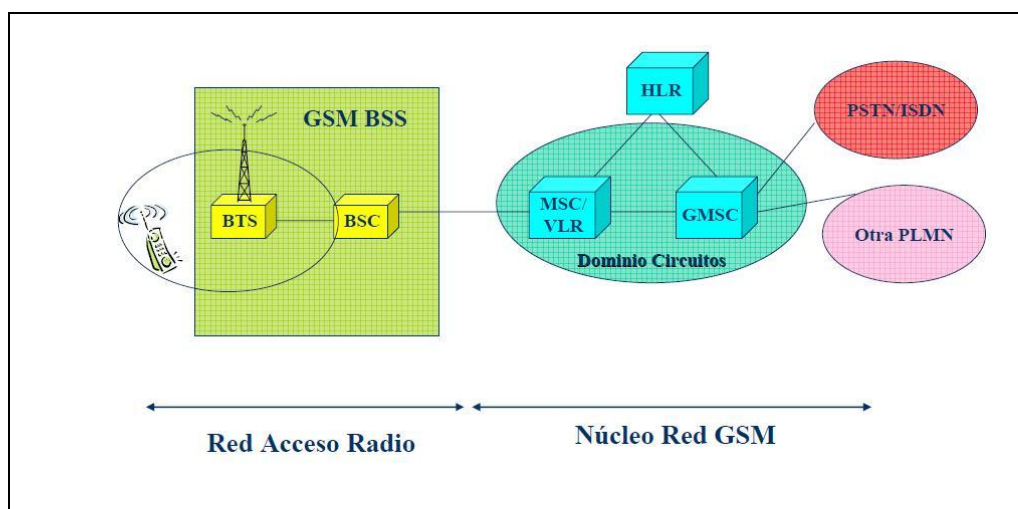


Figura 3. Arquitectura de Red GSM (Abellan, 2007)

II.1.1.2 Sistema GPRS

El Servicio General de Radio Paquetes GPRS (*General Packet Radio Service*) incorpora la transmisión radio entre los equipos de operación con datos del usuario final y las redes de conmutación de paquetes convencionales como puede ser la red X.25, Frame Relay o las redes IP y permite la interconexión con redes de conmutación, con otras redes GPRS (Taferner & Bonek , 2007). Aquí se nos presentan dos elementos nuevos:

- **SGSN (Serving GPRS Support Node):** Se ocupa de las funciones de control de acceso, seguridad y localización de los terminales móviles. Es el encargado de monitorear el terminal móvil para dar comienzo al intercambio de información (Blake, 2004).
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Es el encargado de la interconexión con otras redes y del mapeo de las direcciones.

Debido al incremento en el número de elementos en este sistema, se ven en la obligación de crear nuevas interfaces llamadas interfaces G.

- **Gb:** Encargado de llevar la información de tráfico y señalización entre BSS y la red GPRS, es la interfaz mas importante en lo que a planificación de red respecta.
- **Gn:** Provee información de dentro del sistema.
- **Gd:** Encargado de proporcionar un mejor uso para la aplicación de mensajes de texto.
- **Gp:** Su papel es muy importante ya que sus funciones son de seguridad y enrutamiento.
- **Gs:** Maneja información de localización y solicitudes de paginación.
- **Gr:** Toda la información del abonado puede ser evaluada por la SGSN desde la HLR.
- **Gf:** Encargado de proporcionar la información del terminal móvil que está en el EIR.
- **Gi:** La presencia de esta interfaz va a estar dada por la interfaz que será conectada a la red GPRS.

Los protocolos del sistema GPRS están estructurados de una forma muy diferente a los del sistema GSM, aquí se encuentran los protocolos MS, BSS, SGSN y GGSN.

En la figura 4 se especifica en detalle la arquitectura de una red GPRS.

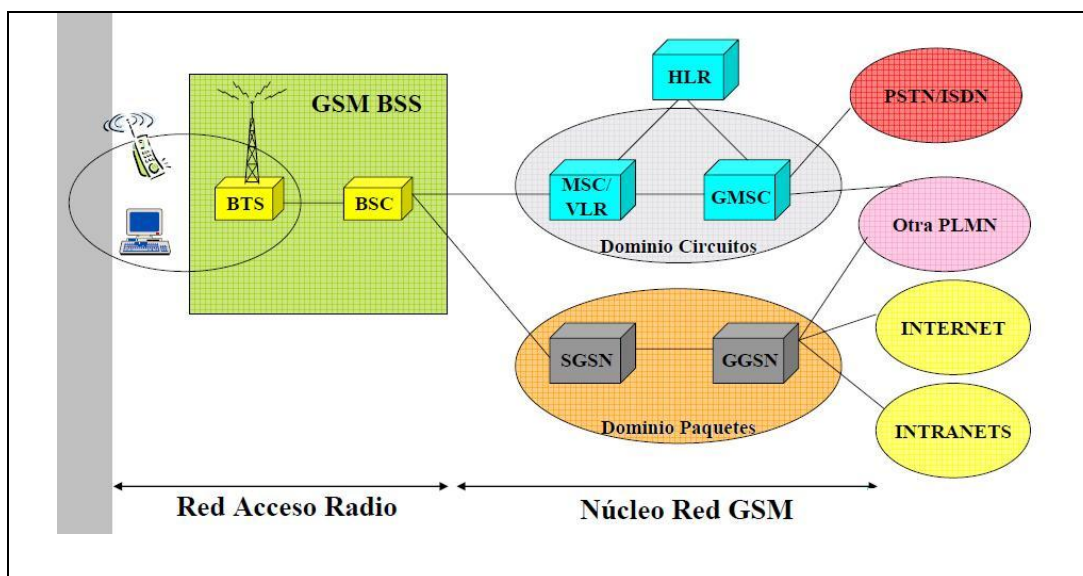


Figura 4. Arquitectura de Red GPRS (Abendallan, 2004)

II.1.1.3 Sistemas EDGE

Las redes GPRS llegan para mejorar la tasa de bits de los sistemas GSM pero el retraso en el despliegue de la tecnología de tercera generación es lo que trae como emergencia una tecnología conocida como EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution*). Los conceptos fundamentales son básicamente los mismos que en el sistema GPRS, voz, datos y la arquitectura de la red es la misma que la utilizada en GPRS que ahora se convierte en EGPRS. El mayor cambio en este sistema es el nuevo esquema de los de modulación utilizado.

Aunque el concepto es similar a GPRS por menores que sean los cambios de software y hardware esto conlleva a grandes cambios en los resultados de dicha red, es por esto que aparece una nueva interfaz dinámica Abis (es dinámica porque el tráfico de datos no está presente todo el tiempo), las interfaces en los sistemas anteriores eran estáticos, hay nueve tipos de esquemas de modulación-codificación utilizados en este sistema (Pechon de La Cruz, 2006).

II.1.2 Redes UMTS/ HSDPA

Estos sistemas corresponden a la 3ra generación celular.

II.1.2.1 Sistema UMTS

El Sistema Móvil Universal de Telecomunicaciones UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) aparece como una nueva tecnología y se justifica porque aporta beneficios y cambios importantes. En este caso el mayor entre la segunda y la tercera generación es el sistema de acceso utilizado WCDMA frente al acceso TDMA/FDMA, que aporta a la tecnología un amplio abanico de servicios. Este sistema está constituido por dos bloques el UTRAN (Red de Acceso Radio Terrena UMTS) y el CN (Red Núcleo).

A su vez el bloque UTRAN está conformado por conjuntos RNS (Subsistema de Red Radio) que están conectados al núcleo de la red mediante la interfaz Iu. El bloque RNS está constituido por el nodo RNC (Controlador de la Red Radio) y este al mismo tiempo se conecta con el nodo B equivalente a la BTS de GSM. Todos ellos conforman la gestión de los aspectos de radio (Hernandez A. , (2005)). El sistema UMTS hará posible la integración a nivel de transporte de todos los servicios sobre los mismos conmutadores ATM.

En la figura 5 se muestra la arquitectura de red detallada de una red de 3ra generación.

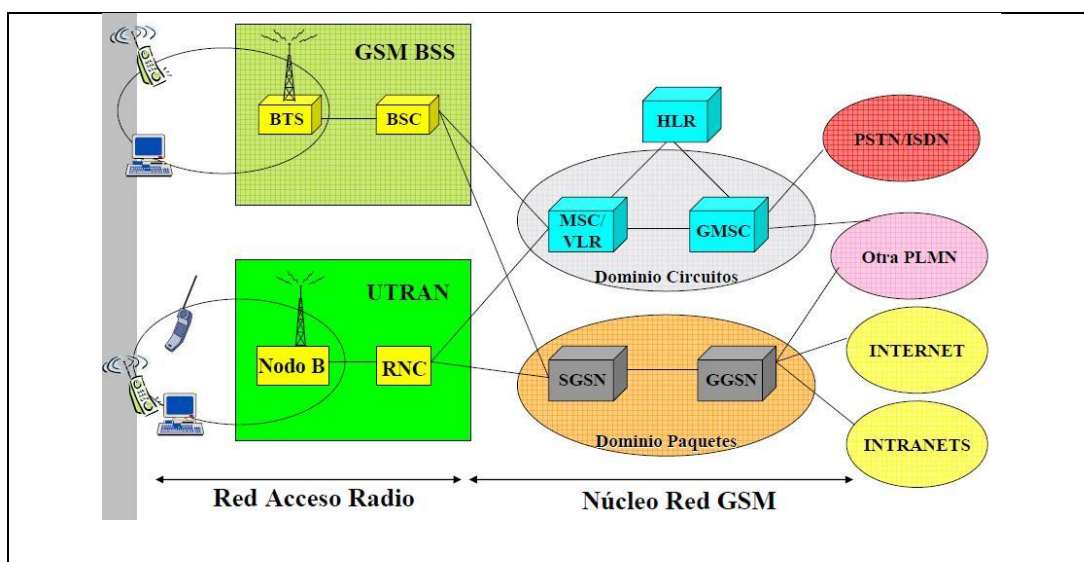


Figura 5. Arquitectura de la Red UMTS

II.1.2.2 Sistemas HSDPA

El sistema de Paquetes de Acceso de Alta Velocidad HSDPA (*High Speed Packet Access*) tiene como idea central crear un nuevo sistema que permita aumentar el rendimiento en la transferencia de paquetes de datos que ya se había introducido con los estándares GPRS/EDGE. Con estos nuevos avances surgen cambios en la arquitectura de red necesarios para alcanzar los requisitos exigidos, así como llevar el control para la adaptación de los requerimientos de cada usuario en la interfaz de aire que interconecta al usuario con el nodo B (Holma & A., 2006).

Con HSDPA, dos de las características más fundamentales que se desarrollaron en EDGE, son anuladas y se sustituyen la modulación y codificación adaptativa por la idea de variar el tiempo de bit el cual dependería directamente del factor de ensanchamiento de la señal modulada por secuencias de chip (Holma & A., 2006). Este nuevo sistema permite la reprogramación de la velocidad de transmisión de tal forma que la mayor capacidad de la red puede ser asignada a un usuario por un periodo muy corto de tiempo.

La interfaz Iub que está entre el Nodo B y RNC requiere un mecanismo de control de flujo para garantizar que el buffer en el nodo B se usa correctamente y que no hay pérdida de datos.

Aunque en este capítulo no se abordan los sistemas de cuarta generación, específicamente las redes LTE, en el Anexo A titulado LTE: Sistemas de Cuarta generación se encuentran todas las especificaciones y características de estos sistemas, ya que el diseño de la red de transporte debe estar pensado de acuerdo a la evolución de las redes.

II.2 Sistemas de Transporte

La suma de demanda de servicios más el incremento de equipos hace que el crecimiento sea mayor cada vez, el mayor grado de exigencia de las aplicaciones unido al gran número de usuarios ha planteado un serio problema a

los proveedores de servicios, son necesarias redes de transporte más rápidas y con mayor capacidad. A partir de este punto las redes ópticas toman una importancia grande. Este tipo de redes ofrecen una gran capacidad y gran velocidad de transmisión, hasta el punto que las redes antiguas de cobre no podrían nunca igualarlas, ni siquiera tecnologías inalámbricas o de microondas (Rubio, 2005). La única desventaja es que la tecnología óptica continúa a un nivel económico bastante alto.

Entre los primeros sistemas de transporte utilizados en los que se involucra la fibra óptica se encuentra SDH, como sistema fundamental, el cual hoy en día forma parte de las redes de transporte de los sistemas celulares. En el Apéndice B SDH: Jerarquía Digital Síncrona se reúne toda la información correspondiente al sistema SDH. En la figura 6 se muestra un esquema general del sistema SDH.

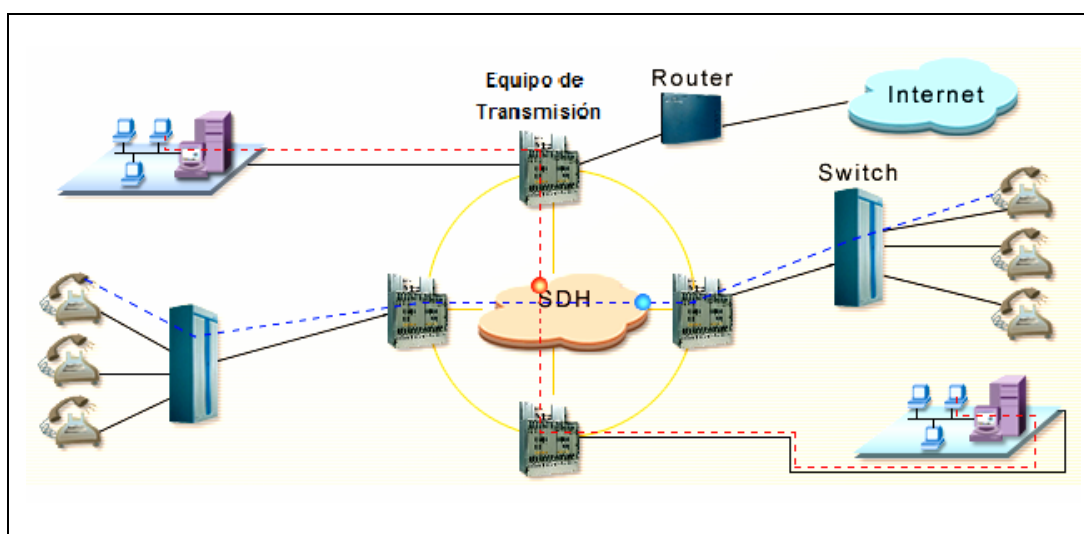


Figura 6. Esquema SDH (Roy, 2004)

Ante la necesidad de incrementar la capacidad de la red, se comienza a utilizar sistemas WDM. Las redes ópticas de primera generación surgieron para sustituir el cobre físicamente, por tener un ancho de banda y un alcance también mayor sin necesidad de componentes activos (amplificadores, por ejemplo). De todas maneras la conmutación y el procesamiento de las tramas de bits se hace aún en el dominio eléctrico (Capmany Francoy J., 2006).

El desarrollo tecnológico no ha parado y se han conseguido redes ópticas de segunda generación llamadas WDM o redes de multiplexación por división de longitud de onda. El gran cambio que incorporan estas redes de segunda generación es la posibilidad de incorporar todo el proceso de conmutación dentro del dominio óptico, y es a este nivel donde se encuentra el desarrollo actual.

La evolución natural de las redes ópticas exige que las nuevas redes sean adaptables al tipo y clase de servicio, den integración a las diferentes tecnologías ya existentes (IP, ATM, SONET/SDH), que el ancho de banda bajo demanda pueda ser proporcionado de manera rápida y eficiente, que sean redes de alta disponibilidad, de mayor capacidad y flexibilidad, de crecimiento sencillo y con una perspectiva de red global (Capmany Franco J. O., 2006).

II.2.1 Sistemas DWDM

La tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) es una técnica de transmisión por fibra óptica. Involucra el proceso de multiplexación de varias señales con diferentes longitudes de onda en una fibra única (Gandluru, 2008). Cada fibra tiene un conjunto de canales ópticos paralelos cada uno usando longitudes de onda ligeramente diferentes. Emplea longitudes de onda para transmitir datos paralelos bit a bit o datos seriales carácter por carácter.

Si se utiliza DWDM la distancia entre frecuencias adyacentes es menor, es decir las frecuencias se encuentran más pegadas; y cuando en un sistema WDM se transmiten señales ópticas cerca de la ventana de 1550nm, con separación menor a 200GHz, se les considera sistemas DWDM y por ende este sistema puede proporcionar 160 longitudes de onda, cada una transmitiendo 10Gbps (en total 1600Gbps) (Hidalgo, 2007).

Es importante tomar en cuenta que la tecnología DWDM se comporta mejor en una fibra óptica monomodo, debido a que puede utilizarse en mayores distancias y es de mejor calidad, para que pueda soportar las tasas de transmisión de los varios haces de luz en una sola fibra (ITU-T, 1997).

DWDM es la tecnología clave para las redes integradas de telecomunicaciones y datos con velocidades de transferencia muy altas. La tecnología se emplea para transmitir múltiples señales en una sola fibra óptica a velocidades de transferencia extremadamente altas (Gandluru, 2008). Cada señal entra en la fibra óptica a una longitud de onda o frecuencia de portadora levemente distinta usando DWDM. Al extremo receptor, las señales individuales se dividen ópticamente empleando el mismo principio que se usa para separar la luz del sol en un prisma.

“La tecnología DWDM, introduce más longitudes de onda distintas en cada fibra. No existe una frontera claramente definida para el calificativo “densa”; puede considerarse a partir de las 10 longitudes de onda” (Fujitsu, 2002).

A medida que el número de longitudes crece, hay que tener en cuenta varias consideraciones como el ancho de banda y el espaciamiento del canal, la potencia óptica que se está transmitiendo por la fibra, efectos no lineales, etc.

En la figura 7 se explica el esquema funcional de un sistema basado en DWDM.

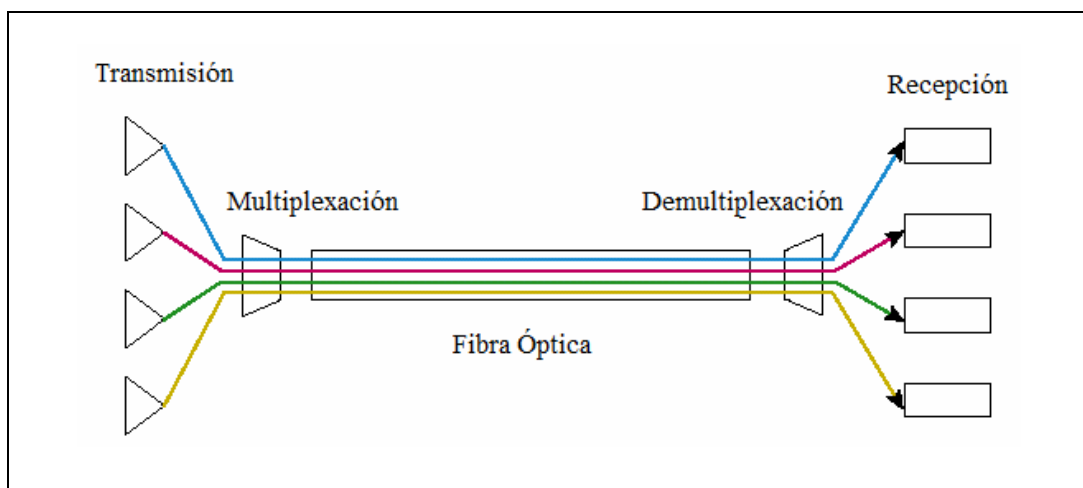


Figura 7. Esquema funcional de DWDM (Laude, 2007)

II.2.1.1 Parámetros técnicos de la tecnología DWDM

Actualmente los sistemas comerciales DWDM presentan 16, 40 y 80 canales, y se prevé la próxima salida al mercado de sistemas de 128 canales. Los sistemas con 40 canales presentan un espaciado entre canales de 100GHz, los que

tienen 80 canales tienen un espaciado de 50 GHz. Este espaciado en frecuencia indica la proximidad de los canales entre sí

“A medida que crece la implantación de DWDM su coste va decreciendo progresivamente, debido básicamente a la gran cantidad de componentes ópticos que se fabrican” (Krauss, DWDM and Optical Networks: an introduction in Terabit Technology, 2010). Consecuentemente, se espera que DWDM se convierta en una tecnología de bajo costo que permita su implantación en muchos tipos de redes.

Las fibras monomodo convencionales pueden transmitir en el rango de 1300 a 1550nm absorbiendo las longitudes de onda de 1340 a 1440 nm (Gumaste Ashwin, 2005).

Los sistemas DWDM emplean los últimos avances en la tecnología óptica para generar gran número de longitudes de onda en el rango cercano a 1550 nm. Un sistema DWDM de 40 canales a 10 Gbps por canal proporciona una velocidad agregada de 400Gbps.

II.2.1.2 Características de DWDM

a) Adaptabilidad / Flexibilidad

El desarrollo de la tecnología DWDM apunta a como la capa óptica (capa superior a la capa de servicios y a la capa SONET/SDH ya existentes, para su continua expansión de las comunicaciones) provee los medios necesarios para transportar integrando las diversas tecnologías de las redes en la infraestructura física ya existente (Hidalgo, 2007). A pesar de que los formatos: IP, ATM y SONED/SDH tienen un único administrador de ancho de banda compatible, todos pueden ser transportados sobre una capa óptica usando DWDM, con lo que esta unificación de tecnologías permite a los proveedores de servicios la flexibilidad para responder a la demanda del cliente sobre la red.

Dentro del contexto particular de las redes y de su adaptabilidad, DWDM, puede empelarse de formas diversas: mediante sistemas de transmisión punto a

punto, redes con encaminamiento de longitud de onda flexible o dinámica, redes con encaminamiento por longitud de onda estático.

b) Escalabilidad

Un canal no utiliza solamente una única longitud de onda, cada canal tiene un determinado ancho de banda alrededor de la longitud de onda central, cada banda se separa de la siguiente por una banda de guarda de varios GHz, de esta manera se busca evitar posibles interferencias entre canales adyacentes, teniendo la habilidad para extender el margen de operaciones sin perder calidad (Kartalopoulos, 2008).

A continuación se muestran una serie de factores en los cuales se generaliza el uso de la tecnología DWDM demostrando su gran escalabilidad, tomando en cuenta la calidad del servicio que se ofrece en la transmisión:

- La fabricación a gran escala de fibra óptica ha posibilitado una disminución de los costos y una mejora en las características de transmisión de la fibra.
- Amplificadores ópticos de ganancia plana para un rango determinado de longitudes de onda que acoplados en línea con la fibra actúan como repetidores eliminando la necesidad de regeneradores.
- Nuevos fotodetectores y fuentes láser que permiten integración produciendo diseños más compactos.
- El campo de aplicación de DWDM se encuentra en redes de larga distancia de banda ultra-ancha, así como en redes metropolitanas o interurbanas de muy alta velocidad.
- Los multiplexores ópticos Add-Drop (OADM) y reconfigurables (ROADM) han permitido que la tecnología DWDM pueda implantarse en redes de diversos tipos.
- Los componentes ópticos de conexión (OXC), que puedan implementarse con diferentes tecnologías de fabricación, y han hecho posible la conmutación puramente óptica.

- Multiplexores y demultiplexores ópticos basados en difracción óptica pasiva (la red de difracción está fuera de la zona activa, donde no circula corriente, es decir la red en parte queda expuesta al exterior de la zona activa).

En la figura 8 se pueden observar los elementos que generan escalabilidad y que uno por uno son explicados en próximas secciones, tratando los componentes que interviene en la tecnología DWDM.

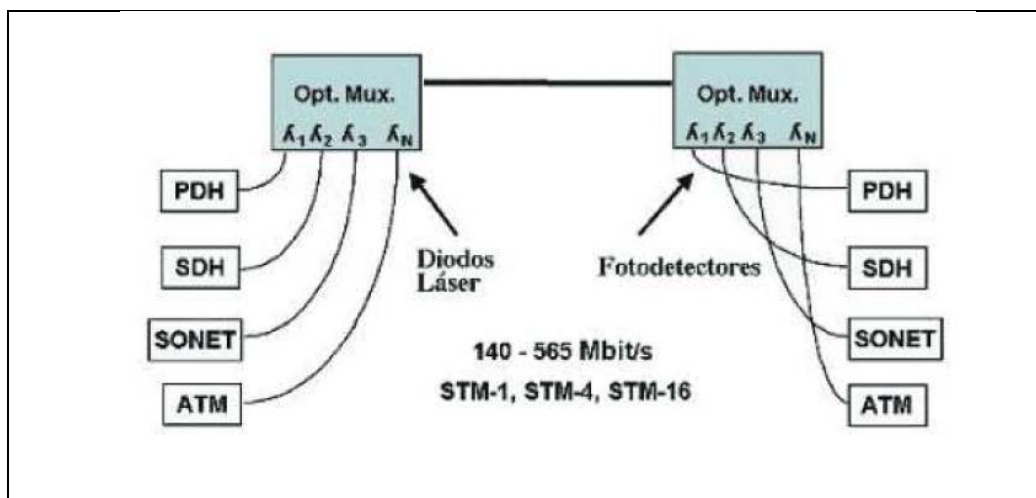


Figura 8. Elementos que generan escalabilidad en DWDM (Capmany Francoy J., 2006)

II.2.1.3 Beneficios

Los beneficios que se describen, se basan generalmente en el comportamiento que las fibras, envían y reciben longitudes de onda simultáneamente a lo largo del camino de un equipo de transmisión a otro, es decir, esto permite que una fibra pueda aumentar su capacidad y en efecto hace que parezca que hay múltiples fibra derivadas de una única fibra.

Debido a que DWDM beneficia de una manera permanente la rápida transferencia de datos, IP, ATM, SONET/SDH, etc., también permite a los equipos generar tasas de transferencia de datos eficientes y con una alta velocidad de transmisión.

Otro beneficio de DWDM es que evita la necesidad de establecer una nueva fibra, ya que simplemente aumenta la eficiencia de la fibra existente

(Figueira Vidal, 2005). Esto hace que DWDM sea más conveniente y también más económico.

II.2.1.4 Aplicaciones de la tecnología DWDM

a) De acuerdo a los proveedores de conmutación y redes ópticas

Como cualquier tecnología, las aplicaciones potenciales para DWDM surgen para poder tomar las capacidades y competencias. DWDM está preparado para proveedores que desarrollan topologías punto a punto o topologías en anillo como se indica en la figura 9.

El acceso inmediato de nuevos canales de transmisión aumenta la posibilidad de éxito y aceptación por la comunidad de usuarios.

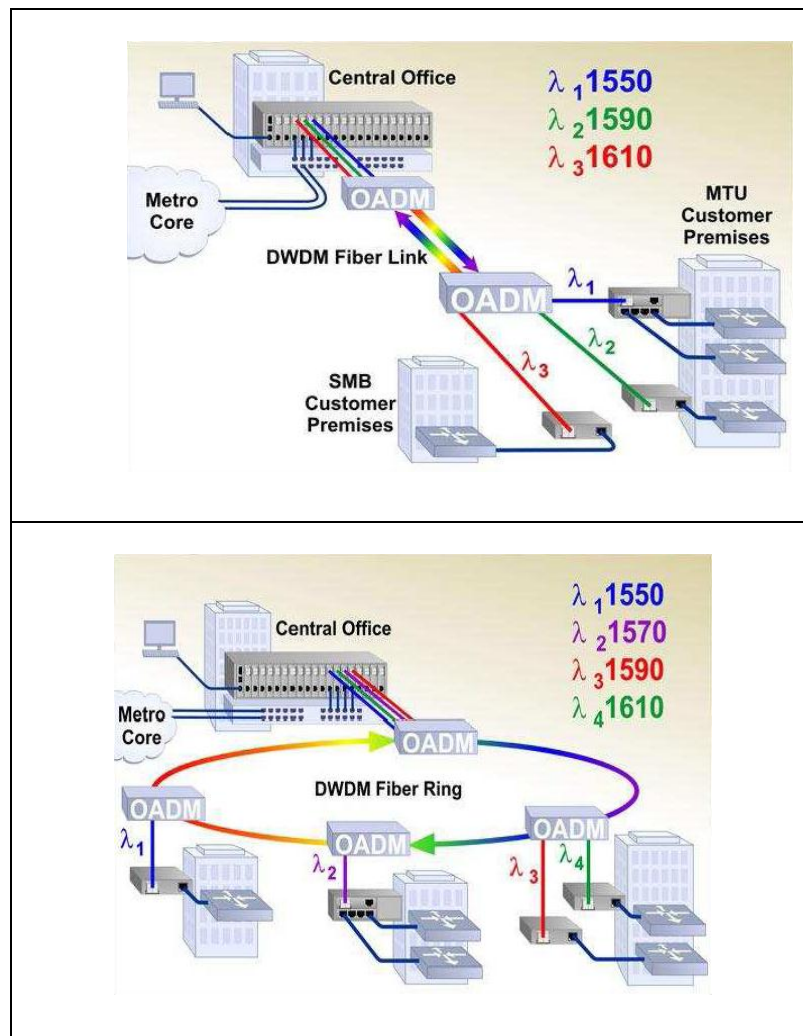


Figura 9. Topología punto-punto y Topología Anillo de DWDM (Ramirez, 2010)

“Al utilizarse la tecnología DWDM permitirá a los portadores construir anillos de fibra con un 100% de protección utilizando dos fibras” (Holliday, 2009). Sin embargo, los operadores de las redes de telecomunicaciones también encuentran en la tecnología DWDM como una oportunidad económica para aumentar la capacidad. DWDM resulta especialmente atractivo para empresas que tienen pocas instalaciones de fibra óptica que se han instalado principalmente para las operaciones internas.

b) De acuerdo a la alta velocidad en DWDM

La disponibilidad de muchos de los canales de transmisión en comparación con la habilidad de las portadoras, generan un aumento en la capacidad y al mismo tiempo dejan de lado el *backup* del ancho de banda sin la necesidad de instalar nuevas fibras (Greene, 2005).

El sector encargado de la planificación de las redes, generan datos de acuerdo a sus necesidades actuales o futuras que también se encuentran en la tecnología DWDM como una forma económica de hacer lo correcto, como:

- Aumentar gradualmente la capacidad de transmisión.
- Proveer rápidamente el nuevo equipamiento para la expansión necesaria.
- Realizar pruebas a futuro de su infraestructura para detener cualquier imprevisto de acuerdo a la demanda excesiva de ancho de banda.

Existen empresas públicas o privadas con una base tecnológica avanzada, DWDM es una manera sencilla de utilizar la actual base de fibra óptica para satisfacer rápidamente la creciente demanda de los servicios y capacidades de datos.

II.2.1.5 Componentes que intervienen en la tecnología DWDM

Las redes ópticas emergentes tendrán una arquitectura similar a las tradicionales. Con el tiempo, la tecnología DWDM se implanta también en la

periferia de la red donde se realizará la tarea crítica de agregar tráfico y variedad de protocolos empleados en las diferentes longitudes de onda (Laude, 2007).

En la figura 10 se indica un diagrama de bloques de los componentes más importantes de una red de fibra óptica punto a punto.

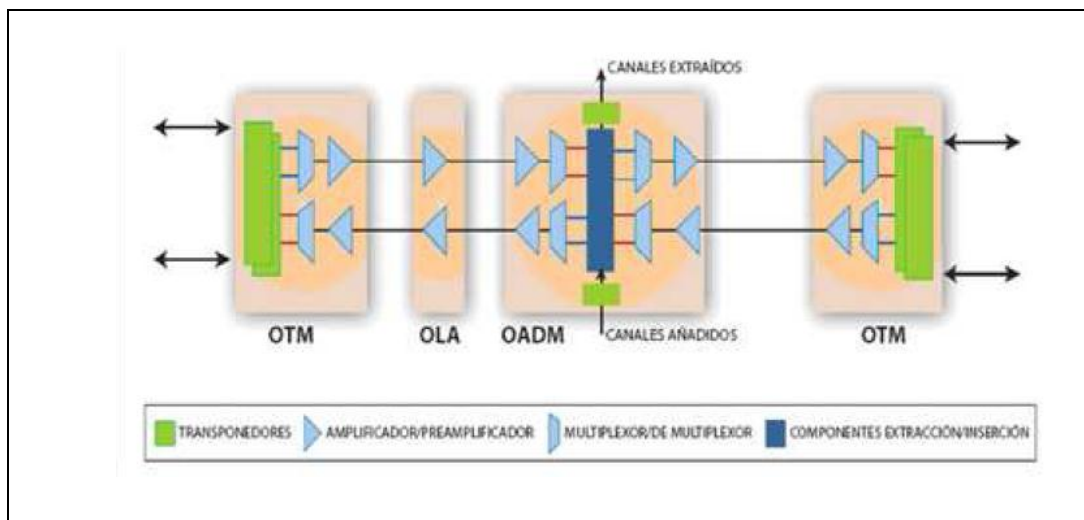


Figura 10. Esquema de operación de un enlace DWDM (Hidalgo, 2007)

II.2.1.5.1 Terminal Multiplexor Óptico (OTM)

Este tipo de multiplexores realizan la función de multiplexación y demultiplexación de los tributarios ópticos hacia o desde los agregados. El OTM de transmisión consta de transpondedores de transmisión (TPT), multiplexor óptico (OM) y amplificador óptico (AO); el OTM de recepción está formado por transpondedores de recepción (TPR), demultiplexor óptico y amplificador óptico (Blake, 2004).

El sistema puede transportar tributarios (STM-1, STM4 y STM16 y de otros tipos) tanto de la 2da como de la 3ra ventana, no se requiere que estos lleguen al sistema ya con la longitud de onda concreta con que la que van a ser transportados por la línea o por la fibra óptica (Gokhale, Introduction to Telecommunications, 2004). Estos equipos son transparentes a la información que transportan, en el sentido de que no realizan modificación alguna de los bytes

transportados por los tributarios. Los OTM tienen la capacidad de incorporar módulos pre-amplificadores o post-amplificadores de señal en caso de que sea necesario para mejorar las características de transmisión.

II.2.1.5.2 Amplificadores

a) Amplificador Óptico de línea (OLA)

Este amplificador es el nodo intermedio en el sistema y permite la conexión entre terminales. OLA puede ser implementado en un solo equipo y pasar a ser bidireccional (formado por dos amplificadores ópticos) (Kazi, Optical Networking Standards. A comprehensive guide for professional, 2006).

Entre las funciones que realizan estos amplificadores son:

- Amplificar señales de los tributarios entrantes que se transmiten por la ruta óptica.
- Extraer el canal de supervisión, realizar su tratamiento y volver a insertarlo sobre la fibra.
- Además deben garantizar que la ganancia sea apropiada para el enlace que se especifique.

En la actualidad los amplificadores ópticos de línea trabajan en el rango de los 1530nm hasta los 1565nm, y pueden amplificar señales ópticas aproximadamente hasta 30 dB, proporcionan ganancia uniforme independiente del número de canales y de velocidad, ajustan automáticamente la ganancia para mantener la potencia del canal, tienen puertos de monitoreo a la entrada y a la salida del amplificador óptico, además permiten el uso de módulos de compensación de dispersión (Krauss, DWDM and Optical networks: an introduction in terabit technology , 2005).

b) Amplificadores de fibra óptica dopados de Erblio (EDFA)

Se ha notado que en redes de largo alcance, los efectos de la dispersión y la atenuación son significativos, lo que indica que la señal no puede mantener su

integridad largas distancias, sin tener que ser amplificada. Con este fin, los amplificadores ópticos ayudan a amplificar señales en intervalos regulares.

Esto condujo al desarrollo de los amplificadores ópticos dopados de Erblio (EDFA). Los EDFAs como su nombre lo indica, se basan en fibras ópticas de silicona que se dopan con Erblio. Este dopaje convierte una fibra óptica pasiva en activa (Adolph, 2006).

El funcionamiento de los EDFAs comienza cuando una señal débil entra en la fibra dopada con erbio, ahí un láser inyecta una luz de 980 a 1480nm. Esta luz estimula los átomos de erbio que liberan su energía almacenada como luz adicional a 1550nm. En la figura 11 se explica el funcionamiento de los EDFAs.

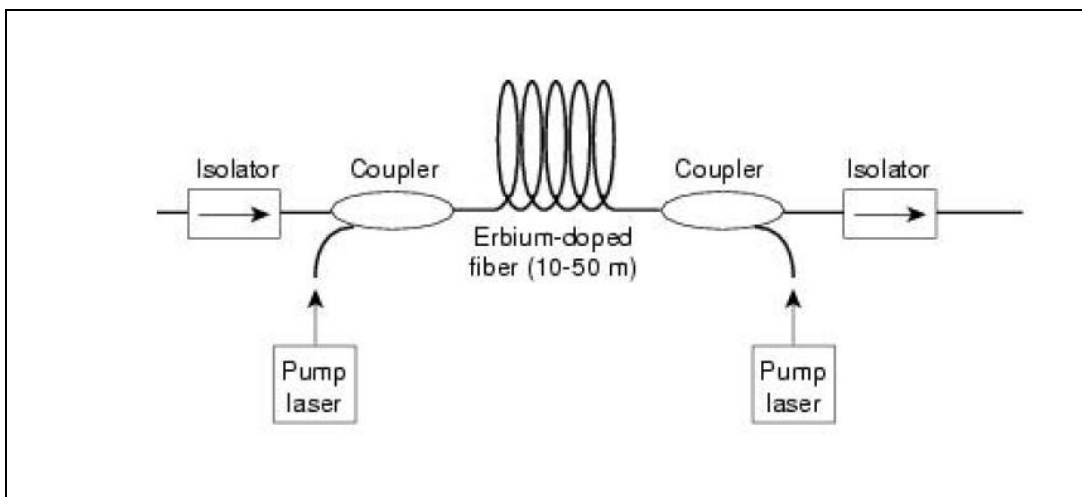


Figura 11. Funcionamiento de un EDFA (USB, 2012)

Los parámetros de importancia de un amplificador son la ganancia, uniformidad de la ganancia, el nivel de ruido y el poder de salida. Los EDFAs típicos producen ganancias de 30dB o mas y tienen potencia de salida de +17dB (Gokhale, Introduction to Telecommunications, 2004). De estos parámetros nombrados los más importantes son el nivel de ruido, que debe ser bajo, ya que todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. La amplificación hecha por los EDFAs es dependiente de la longitud de onda pero puede ser corregida con filtros.

El nivel de ruido debe ser bajo ya que el ruido, al igual que la señal, es amplificado. Este efecto es acumulativo y no puede ser filtrado. La relación señal

a ruido es un factor limitante en el número de amplificadores que pueden ser concatenados. Están disponibles para las bandas C y L.

Los EDFAs han sido utilizados por lo general para propósitos terrestres y submarinos, estos amplificadores permiten conseguir regeneradores de longitudes de onda redundantes. Básicamente este tipo de amplificadores ópticos han hecho que la tecnología DWDM sea económicamente factible.

Entre las ventajas de los EDFAs destacan:

- Funcionamiento en la tercera ventana óptica, la más apropiada para transporte de larga distancia.
- Alta ganancia óptica superando en ciertos casos los 30 dB, varía según el diseño y la aplicación específica.
- Buen ancho de banda, típicamente de 30 a 35 nm.
- Factor de ruido relativamente bajo, típicamente de 4 a 5 dB, el factor de ruido se define como la relación entre la razón señal a ruido a la entrada del EDFA y la razón señal a ruido a la salida del EDFA.
- Alta potencia de salida (hasta 16 dBm o más).
- Una ganancia independiente de la polarización de la luz.
- Inmunidad a la diafonía y distorsión. Se mantiene una perfecta linealidad incluso en un EDFA muy saturado.

La banda C (1530 – 1565 nm.) es la banda de los EDFAs tradicionales. Existe otra importante que se llama Banda L (1570 – 1620 nm.), para las redes DWDM de alta capacidad con más de 100 longitudes de onda por flujo, se busca la posibilidad de usar un ancho de banda óptico muy grande para acomodar todas las longitudes de onda.

II.2.1.5.3 Multiplexores

a) Multiplexor Óptico de Inserción / Extracción (OADM)

Los sistemas tradicionales de fibra óptica están ampliamente desplegados en las redes de telecomunicaciones, las primeras instalaciones eran básicamente

punto a punto, pero los sistemas actuales necesitan extraer y agregar canales en los nodos intermedios.

Con el incremento de canales el número de inserciones y extracciones también aumenta.

En la figura 12 se presenta la implementación de un OADM fijo. Esto significa que las longitudes de onda a insertar y extraer son predeterminadas y no se pueden cambiar.

El funcionamiento de estos componentes es sencillo: para cada λ al insertar o extraer se coloca una rejilla de Bragg (FBG). Estas ondas pasan por el circulador óptico, se reflejan sobre la FBG, vuelven al circulador, el cual las despacha hacia otra fibra (Capmany Francoy J. O., 2006).

De esta manera se bajan o insertan unas longitudes de onda predeterminadas.

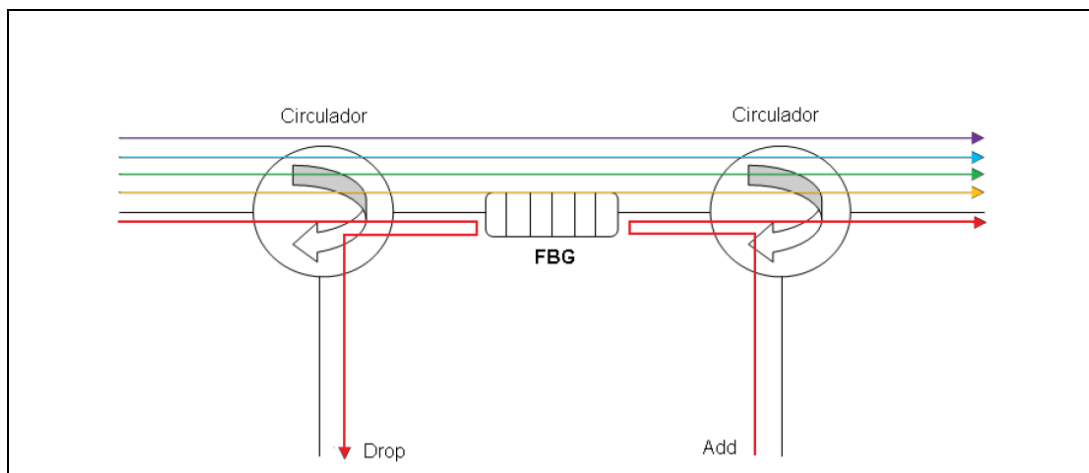


Figura 12. OADM fijo (Mukherjee B. , 2007)

A partir de esta configuración surge una importante variante, con aplicaciones muy importantes.

b) ROADM, “Reconfigurable OADM”.

El que sea reconfigurable quiere decir que el usuario puede establecer en que longitud de onda trabaja el *transponder*, esto implica que es sintonizable

(B&C Consulting, 2008). También quiere decir que los canales que se envían se pueden enviar de paso, se pueden extraer e insertar.

Esta configuración permite la habilidad de conmutar remotamente el tráfico proveniente de un sistema WDM a la capa de longitudes de onda. Lo que permite transportar los datos de los canales individuales o múltiples longitudes de onda para ser insertados o extraídos de la fibra de transporte sin la necesidad de convertir las señales WDM a señales eléctricas y viceversa.

ROADM posee muchas ventajas, la planeación completa de la asignación del ancho de banda puede llevarse a cabo durante la disposición inicial del sistema, es decir que la configuración puede hacerse cuando esta sea requerida sin afectar el tráfico ya existente en el ROADM.

II.2.1.5.4 Transconectores Ópticos (OXC)

Actualmente los OXC son elementos fundamentales de las redes de telecomunicaciones, permitiendo a los operadores gestionarlas, cubriendo así rigurosos objetivos de calidad y servicio (Mukherjee B. , 2007). En el caso de las redes ópticas, los transconectores son funcionalmente requeridos. Frente a un OADM, un OXC tiene varias fibras de entrada, cada una de ellas transportando un canal WDM, y varias fibras de salida que transportan también canales WDM.

Sin embargo, se necesita de un nuevo paso para el soporte de la conectividad, esto puede lograrse desplegando Conectores de Cruce Óptico (OXC), para la conmutación de canales en la capa óptica.

Existen tres tipos de OXC como se muestra en la Tabla 1.

Conmutador de Fibra (<i>Fiber Switch</i>)	▪ En caso de falla, reencamina todo el tráfico de la fibra a otra fibra. ▪ No manipula portadoras individuales por lo tanto ofrece una flexibilidad limitada en términos de gestión de red.
Conmutador de portadora (<i>wavelengthswitching</i>)	▪ Opera a nivel de cada portadora dentro de una fibra óptica y enrutándola hacia otra fibra óptica.

	▪ Proporciona gran flexibilidad.
Con traslación de longitud de onda (<i>wavelengthinterchange</i>)	▪ No solo será capaz de operar a nivel de portadora, además podrá cambiar las longitudes de onda. ▪ Ideal en términos de flexibilidad.

Tabla 1. Tipos de OXC (Mukherjee B. , Optical WDM Networks, 2006)

En las figuras 13, 14 y 15 se muestran el funcionamiento de cada tipo de OXC.

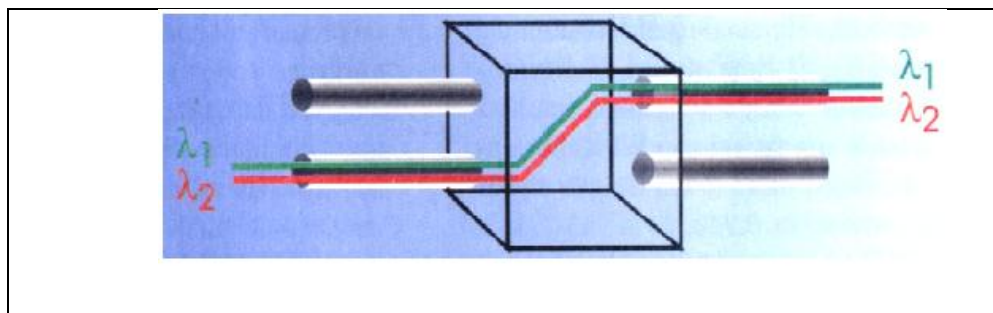


Figura 13.OXC Conmutador de fibra (Herrera, 2012)

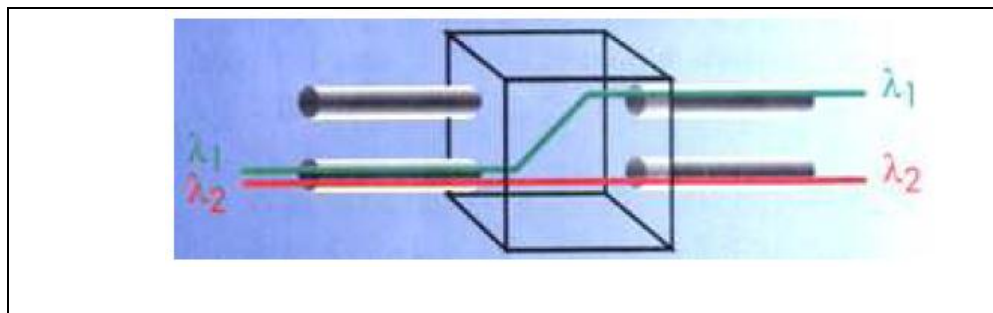


Figura 14. OXC Conmutador de portadora (Herrera, 2012)

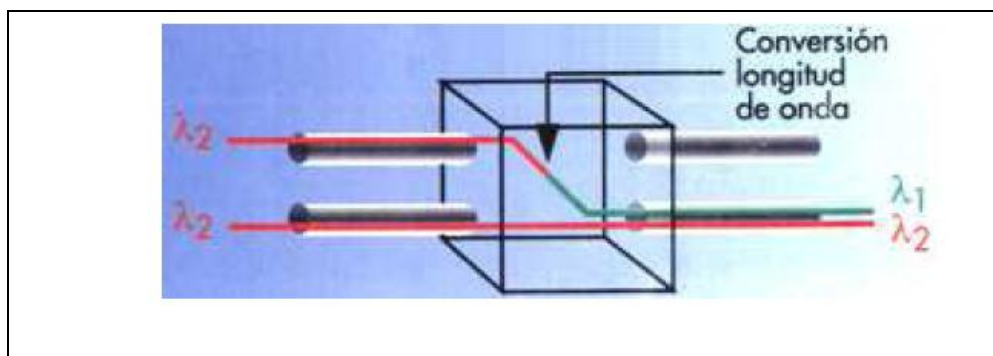


Figura 15. OXC Con traslación de longitud de onda (Herrera, 2012)

La gran capacidad de DWDM, la nueva generación de OADMs y los OXCs permitirán una conectividad totalmente flexible y gestionable, la escalabilidad de soluciones diferentes con distintos grados de complejidad,

diferentes tipos y niveles de protección, y facilidades para controlar la calidad de servicios en la red, esto implica, el cumplir totalmente con una óptica consistente.

II.2.1.6 Fibra óptica

Hace falta adicionalmente describir los distintos tipos de fibras ópticas con el fin de poder discriminar cuales de ellas serian las más adecuadas para ser aplicadas en redes DWDM.

Para esto se tomarán en cuenta los parámetros más importantes siendo estos la atenuación y la dispersión cromática en relación con la ventana de trabajo de los sistemas WDM y DWDM que actualmente está establecida en el rango de longitudes de onda comprendido entre 1530nm y 1565nm, aproximadamente (Abellan, 2007).

De los parámetros mencionados, la atenuación se compensa con la amplificación óptica, siendo la dispersión cromática el factor más importante a considerar. Según la norma de la UIT-T en su recomendación G.652, la fibra monomodo SMF es la mas apropiada para ser utilizada en enlaces de fibra.

II.2.1.7 Arquitectura de la tecnología DWDM

Las arquitecturas de las redes DWDM pueden ser clasificadas en dos grandes categorías: arquitecturas de difusión y selección (*broadcast and select*) y arquitecturas por ruteo de longitud de onda (*wavelength routing*). En la tabla 2 se presentan los detalles de la arquitectura de las redes DWDM.

Categoría	Características
Arquitectura de difusión y selección	▪ Diferentes nodos transmiten a diferentes longitudes de onda. ▪ Sus señales hacen <i>broadcast</i> por un elemento pasivo en el medio de la red para todos los nodos. ▪ Es un acoplador óptico de estrella pasivo. ▪ El acoplador combina las señales de todos los nodos y entrega una fracción de la potencia de cada señal a cada puerto de salida.

	▪ Cada nodo emplea un filtro óptico sintonizable para seleccionar la longitud de onda deseada en recepción. ▪ La red es simple y conveniente para el uso de redes locales y metropolitanas. ▪ Las longitudes de onda no pueden ser reusadas en la red, por tanto el número de nodos es limitado. ▪ La potencia de un nodo debe ser repartida entre todos los receptores en la red.
Arquitectura por ruteo de longitud de onda	▪ Los nodos en la red son capaces de enrutar diferentes longitudes de onda de un puerto de entrada a puertos de salida diferentes. ▪ Esto permite habilitar simultáneos <i>lightpaths</i> (camino de luz con una misma longitud de onda λ en la red). ▪ Todos los <i>lightpaths</i> utilizan la misma longitud de onda sobre cada enlace en todo su camino. ▪ Es una limitación si no existe la capacidad de conversión de longitud de onda dentro de la red.

Tabla 2. Arquitectura de las redes DWDM (Mukherjee B. , *Optical WDM Networks*, 2006)

En la figuras 16 y 17 se muestran en esquemas los tipos de arquitecturas que existen cuando se trabaja con sistemas DWDM.

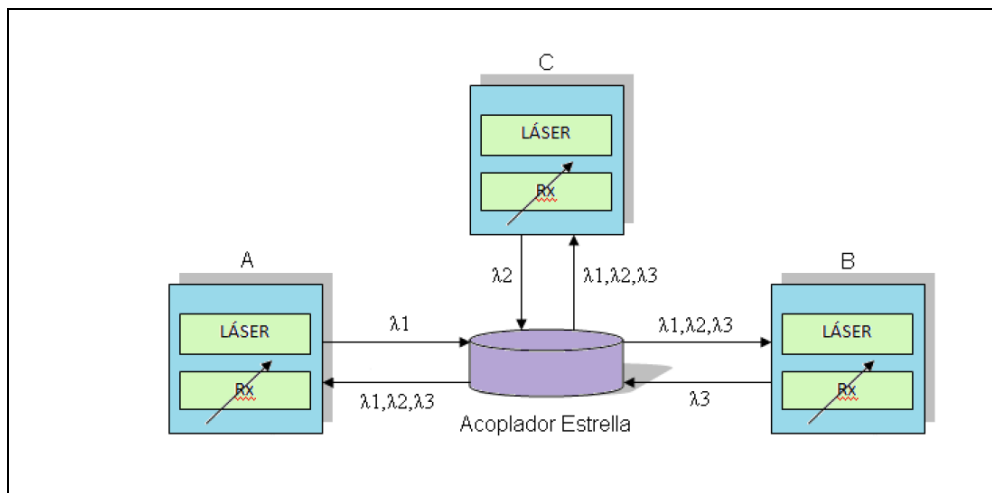


Figura 16. Arquitectura de difusión y selección (Maneiro, 2012)

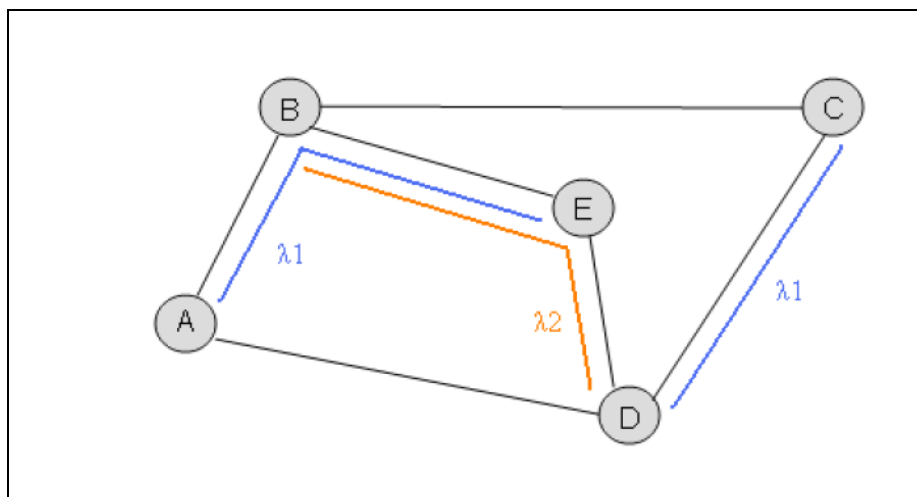


Figura 17. Arquitectura por ruteo de longitud de onda (Maneiro, 2012)

II.2.1.8 Ventajas de la tecnología DWDM

En cualquier tendido de cable puede resultar más cara la infraestructura necesaria para ello, que el propio costo del cable. Se entiende, que hay que realizar una planificación muy cuidadosa de cualquier red, pero las previsiones más optimistas se pueden ver ampliamente superadas por la demanda de Internet.

En el caso de la fibra óptica, con la tecnología WDM se pueden multiplicar la capacidad por 4, 8, 16, 32 o incluso por mucho más, alcanzando (con 128 canales STM-64-DWDM) mas de 1Tbps sobre una única fibra óptica, una capacidad suficiente para transmitir simultáneamente 20 millones de conversaciones telefónicas y de datos (Mera Larrea, 2005).

Cuando el número de longitudes de onda (canales) que se multiplexan es superior a 8, la tecnología utilizada es DWDM, combinando múltiples señales ópticas de tal manera que puedan ser amplificadas como un grupo y transportadas sobre una única fibra óptica para incrementar su capacidad; cada una de las señales puede ser a una velocidad distinta y con un formato diferente.

El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción en la que se multiplexan los canales, lo que aumenta la fiabilidad del sistema, aunque, eso sí, los necesarios son más complejos y costosos. Debido a la alta potencia de los amplificadores DWDM y el bajo nivel de ruido se consiguen

distancias de hasta 600Km sin repetidores para 2,5Gbps y 32 canales independientes (Roy, 2004).

Los sistemas DWDM presentan algunos inconvenientes ya que no todos los tipos de fibra óptica lo admiten, las tolerancias y ajustes del láser y filtros son muy críticos, los componentes que utiliza son sumamente caros, aunque, a pesar de ello la solución es más barata que otras.

La construcción de anillos ópticos flexibles encuentra en WDM una tecnología muy apropiada ya que se puede enviar la misma información en dos longitudes de onda distintas y monitorizar en el receptor el resultado, si se producen errores en un canal se conmuta al otro de forma inmediata. El resultado es similar al que se obtiene en SDH con un anillo doble, pero utilizando dos longitudes de onda en lugar de dos fibras ópticas, lo que resulta más económico, aunque resulta evidente que si la fibra óptica sufre algún daño, la comunicación se interrumpe.

II.2.1.9 Canal de Control ó Supervisión

La tecnología DWDM debe disponer de un canal óptico adicional dedicado al control ó supervisión. Este canal se transmite sobre la misma fibra óptica, multiplexado con las portadoras de los canales de tráfico (Kazi, Optical Networking Standards , 2006).

Este canal puede ser implementado fuera o dentro de la banda de ganancia del amplificador óptico y en ningún caso provocará interferencia con los canales que transportan tráfico, ni con el sistema de control de planta externa de los operadores de Telecomunicaciones, es por eso que permitirá realizar las tareas de mantenimiento desde cualquier estación o de cualquier nodo, incluyendo información de configuración de equipos, alarmas remotas, información para la localización de averías, etc.

Sin embargo, en el Amplificador Óptico de Línea (OLA) o en el Multiplexor Óptico de Inserción/Extracción (OADM) se extraerá y se volverá a insertar el canal de control ó supervisión. En cada estación o nodo se añadirá

información sobre su estado y se extraerán las posibles órdenes enviadas a él procedentes del gestor de red. El sistema debe asegurar la continuidad del canal de supervisión en caso de que se produzca alguna avería tanto en el OLA como en el OADM.

II.2.1.10 Evolución de la capa óptica

El gran crecimiento previsto de tráfico asociado con las nuevas aplicaciones y servicios actualmente ha demandado un aumento del ancho de banda. Para satisfacer esta demanda, la capacidad de los sistemas de transmisión punto a punto crece cada vez más.

Los nodos de la red están basados en multiplexores de inserción/extracción (ADM) y transconectores digitales (DXC). Consecuentemente, las señales ópticas que se propagan a través de la fibra óptica tienen que ser convertidas en eléctricas a la entrada de los nodos, procesadas eléctricamente y encaminadas de acuerdo con la topología de la red, de la matriz de tráfico y de la necesidad de los operadores (Clesca, 2008).

La necesidad de una nueva tecnología y de una nueva capa en la parte superior de las dos capas existentes, como se indica en la figura 18, ha emergido como un requisito de las redes en continua expansión, del aumento de la demanda de ancho de banda.

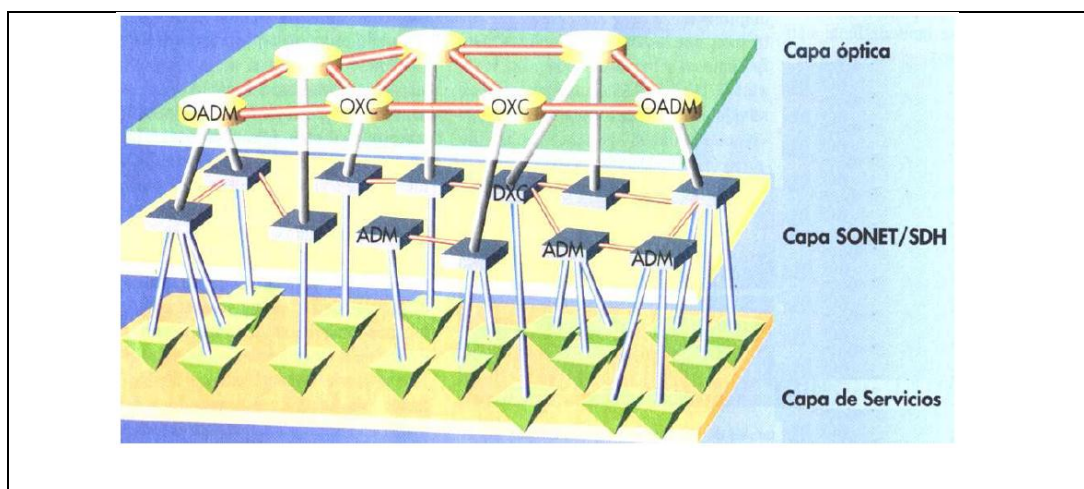


Figura 18. Evolución de la capa óptica

Actualmente existen dos capas básicas:

- La capa de servicios: que envía servicios a los usuarios.
- La capa SONET/SDH: soporta un gran número de funciones importantes, incluyendo multiplexación por división de tiempo (TDM) de las señales de los tributarios, transporte de las tramas normalizadas vía interfaces ópticas conexión flexible a nivel de espacio y tiempo, protección en los equipos y gestión de red.

En fin, tanto la capa óptica como la capa SONET/SDH llevan a cabo funciones similares, sin embargo, la capa óptica manejará portadoras ópticas (a 2Gbps ó 10 Gbps) en vez de contenedores virtuales SDH que maneja la capa SONET/SDH (con una capacidad de 155Mbps o menor). Con esta diferencia decrecerá el tamaño, la complejidad y el costo de los nodos ópticos.

II.2.2 Redes Ópticas de Transporte OTN

Las redes ópticas de transporte están especificadas por la ITU-T en varias recomendaciones G.872 para la arquitectura, el G.709 para los formatos y tramas, G.798 para funciones y procesos. En el dominio óptico las OTN están basadas en la tecnología DWDM y el estándar provee métodos de supervisión y administración de la red. La jerarquía de Redes de Transporte Óptico está basada en el camino óptico (OCh – Optical Channel) dónde la carga de datos es soportada por una longitud de onda incluyéndose en esta tecnología canales de supervisión y de administración para establecer la señalización de la red (Clesca, 2008).

En un principio solo conexiones punto a punto y anillos WDM eran posibles pero gracias a sistemas ópticos de conmutación a nivel óptico han permitido que se realicen sólo pequeñas conversiones óptico-eléctricas y viceversa empleadas para la regeneración de la información.

Redes de transporte con conmutadores eléctricos pueden ser cambiados por *cross-connects* ópticos, lo dicho nos ahorra la conversión de la señal a eléctrico con el inconveniente de caros *transceivers* y la penalización de rendimiento que ello conlleva.

Para hacer un símil entre las OTN y la capa OSI que hace de referencia a los desarrolladores, de redes LAN IP entre otras, las redes ópticas también están compuestas de capas. En la tabla 3 se presentan las capas denominadas planos en las redes de transporte óptico.

Plano	Características
Control	Se encarga de establecer, supervisar, mantener y liberar las conexiones y las llamadas.
Gestión	Encargado de la supervisión, configuración, seguridad y facturación del sistema.
Transporte	Encargado de la transferencia de información de los usuarios de un lugar a otro, ya sea unidireccional o bidireccionalmente.

Tabla 3. Planos de las redes de transporte ópticas

Otra de las características que han sido incorporadas en las redes ópticas de transporte es la capacidad de mapeo y adaptación de señales. Como comentábamos antes las redes actuales son muy diversas y utilizan diferentes tecnologías y tipos de tramas, las redes de transporte ópticas tienen que tener la capacidad de poder incluir tramas de un amplio aspecto y forma.

II.2.2.1 ASON

Los grupos de trabajo están desarrollando una evolución de estas redes para que los procesos asignación de recursos y servicios se automaticen, aquí aparecen las ASON (Automatically Switched Optical Network). Los trabajos sobre ASON podrían englobarse, dentro de OSI, en la Capa 2 y 3.

La arquitectura de las redes ASON está determinada por la topología y los elementos de transmisión que conforman los nodos. Las topologías malladas requieren menos recursos de red, le otorgan mayor flexibilidad y facilitan su crecimiento (Gendron & Gidaro, 2012).

Las redes clásicas, basadas en anillos, son de aprovisionamiento mucho más complejo, son más rígidas, requieren más recursos de red y son de difícil crecimiento e interoperabilidad. Estos factores determinan que el costo del hardware de red y los costos operacionales sean sensiblemente superiores. Los elementos clave que conforman los nodos en las redes malladas son los

conmutadores ópticos (OXC o ROADM) y los transmisores a longitud de onda DWDM sintonizable. La operación combinada de ambos dispositivos permite la provisión dinámica y en tiempo real de caminos ópticos y de ancho de banda, mediante la extracción e inserción de portadoras ópticas entre redes para el establecimiento de los enlaces ópticos. El control y la inteligencia de red de transporte residen en el estándar GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*).

II.2.2.2 Características de ASON

En la tabla 4 se presentan las características correspondientes a las redes ASON.

Características de ASON
1) Capacidad para introducir nuevos servicios ópticos. Entre estos servicios, se destacan dos: “Servicio de Ancho de Banda BW bajo Demanda” (BODS) y “Redes Privadas Virtuales Ópticas” OVPN.
2) Capacidad de enrutamiento dinámico. ▪ Auto detección de “vecinos”: Cada Nodo reconoce a sus nodos adyacentes. ▪ Auto detección de enlaces de conexión: Los nodos ASON son capaces de chequear automáticamente la disponibilidad de enlaces. ▪ Auto detección de topología: Tan pronto los OXC (Optical Cross Connect), (elementos que se encargan de enlazar los diferentes caminos). ▪ La arquitectura de enrutamiento está basado en <i>áreas</i> (Routing Áreas – RAs) subdividiendo la red por zonas de descubrimiento y rebajando el costo de actualización.
3) Aumento de la estabilidad y escalabilidad en los sistemas de gestión de operaciones. Dado que la red ASON es capaz de enrutar y restaurar las conexiones automáticamente en una forma mucho más tolerante a fallas, el requerimiento de mantener la consistencia de la base de datos de topología es satisfecho (figura 19).
4) Restauración más eficiente de servicios.

Tabla 4. Características de las redes ASON (Gendron & Gidaro, 2012)

En la figura 19 se representa el control de forma distribuida que tienen como características las redes ASON.

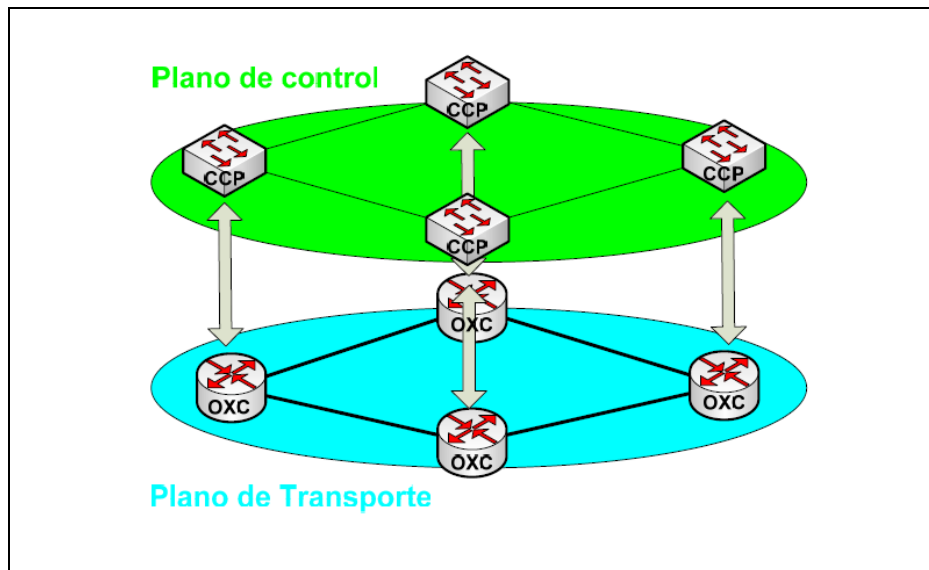


Figura 19. Representación del control distribuido (Ferrer Marti, 2009)

II.2.2.3 Planos de ASON

Las redes de conmutación automática, tal como se conciben en el estándar ASON, están constituidas por tres planos: el de transporte, el de control y el de gestión. En la figura 20 se muestra un enfoque macro de la interacción entre estos tres planos.

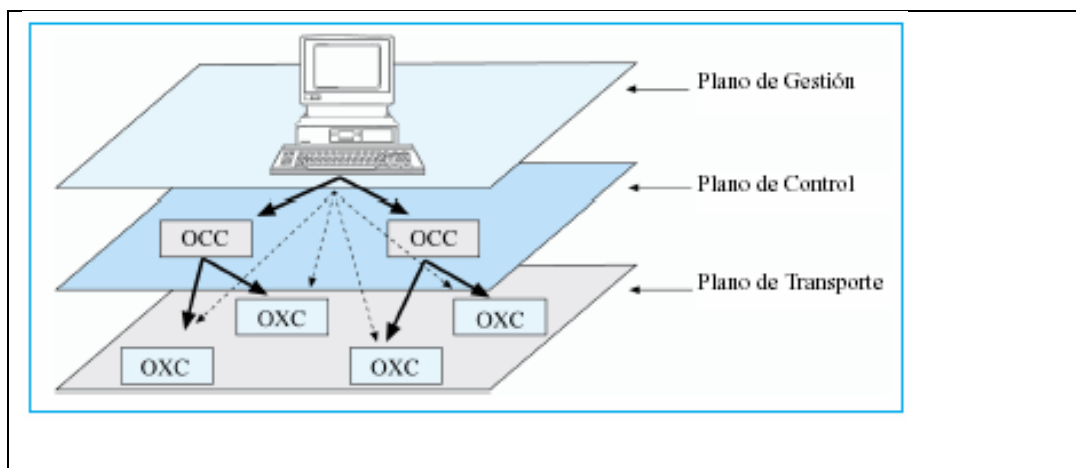


Figura 20. Descripción de los planos de las OTN (Ferrer Marti, 2009)

Su enfoque fundamental está dirigido a proveer a las redes ópticas con un plano de control inteligente, que incorpore aprovisionamiento dinámico de la red combinado con funciones de supervisión, protección y restauración de las

conexiones. En la tabla 5 se presenta la descripción de los planos de las redes ópticas.

Plano	Características
Control	Entidad lógica que da inteligencia a la red, tales como enrutamiento, señalización y restauración de caminos
Gestión	Unidad lógica que permite al operador de la red gestionar su comportamiento.
Transporte	Unidad lógica y física que hace el transporte de los datos, así como la amplificación y regeneración de la señal óptica.

Tabla 5. Descripción de los planos de las redes ópticas

ASON fue diseñada en su concepción inicial para soportar múltiples clientes y diferentes tecnologías. Esta diversidad crea los diferentes dominios de cada plano. La conexión intra-dominios e inter-dominios dentro de la capa de control, se realiza a través de las interfaces I-NNI (Internal Network to Network Interface), E-NNI (External Network to Network Interface) respectivamente y I-NMI (Internal Network to Managment Interface) (Gendron & Gidaro, 2012).

Adicionalmente existe otra interfaz en la capa de control, que enlaza el dominio de los usuarios con la red de los Proveedores de servicio, y se conoce por las siglas UNI (User to Network Interface).

En la figura 21 se muestran las interfaces que comunican los distintos planos que conforman la red ASON.

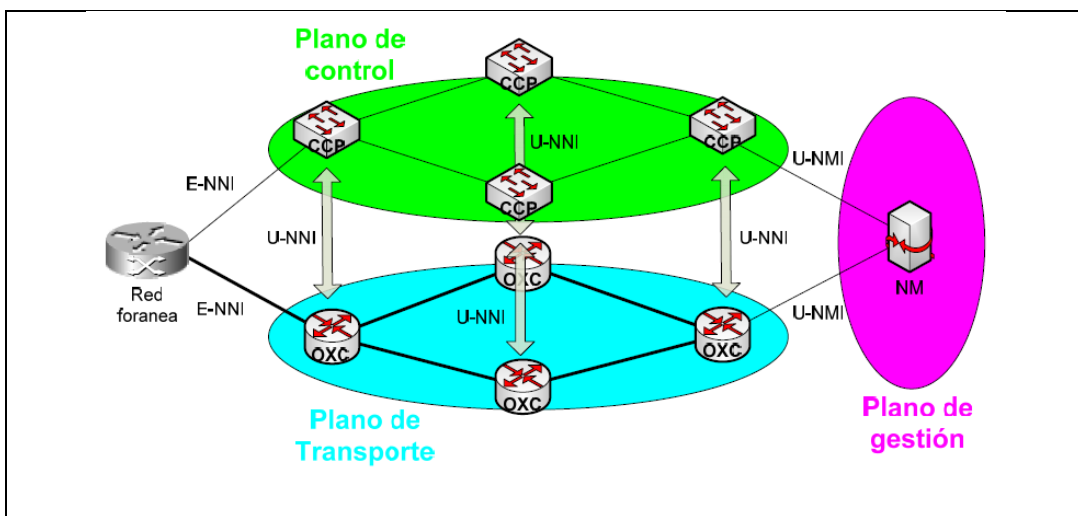


Figura 21. Esquema con interfaces que comunican los distintos planos (Ferrer Marti, 2009)

II.2.2.4 Enrutamiento y Señalización

La arquitectura de ASON trata separadamente las llamadas y su control de conexión. Esto permite la introducción de servicios mejorados, en donde una simple llamada puede estar compuesta de más de una aplicación.

Esta característica brinda beneficios a las áreas de mantenimiento y restauración. Las redes ópticas son capaces de entregar conexiones de banda muy ancha a través de los *lightpaths* (Clesca, 2008).

La arquitectura de enrutamiento de las ASON asume que la red será subdividida en *áreas* (RAs). Puede soportar múltiples protocolos de enrutamiento pero el elemental será OSPF. Cada *área* tendrá Controladores de Enrutamiento (RCs) y de backup por si los primero caen, para el intercambio de información de routing entre *áreas*. La estructura de los nodos de la red ASON es jerárquica, habiendo unos nodos padres, y otros hijos. La comunicación entre controladores de *área* será de padre a padre nunca de un hijo de un *área* a otro hijo de otra *área*, se escalará siempre.

II.2.2.5 Ventajas e inconvenientes de las ASON

- **Ventajas**

La capacidad de las redes ASON que permiten a las operadoras dar soporte a los clientes es una gran ventaja, ya que la integración de todos los clientes sobre una misma plataforma reduce mucho los costos y simplifica el manejo de la red.

La utilización de protocolos generalistas, actualizables y escalables, además de la posibilidad de conmutar canales ópticos, permiten gran movimiento en la estructura de la red.

El plano de control permite una gran supervisión de los recursos libres de la estructura, pudiendo gestionarlos sacando un rendimiento óptimo.

El operador podrá garantizar un servicio a un cliente aplicando sus políticas de control sobre los recursos, pudiendo de esta manera ajustar el precio.

La separación del plano de control del plano de transporte nos permitirá dar los siguientes servicios:

- Canales semipermanentes conmutados automáticamente.
 - Canales permanentes automáticos.
 - Redes ópticas virtuales.
 - Asignación de longitudes de onda a flujos entre nodos extremos.
- **Desventajas**

A pesar de estas ventajas que promete ASON tiene puntos no tan favorables.

La granularidad de las longitudes de onda, hace que la asignación de una longitud de onda a un cliente sea improbable mientras el coste de ésta sea tan elevado. No es posible asignar longitud de onda a tráficos exclusivos ya que tiene una elevada capacidad y se estaría desperdiciando.

Con estas tecnologías a nivel de transporte, se evidencia como la evolución de los servicios que prestan las operadoras móviles cada vez más se orientan a soluciones ópticas que permitan robustecer la red, ofreciendo mejoras en la capacidad y la calidad de servicio que se presta a los usuarios.

La integración de los sistemas celulares actuales con estas tecnologías de transporte de datos basada en fibra óptica representa una solución para redes que aun están en desarrollo. En capítulos posteriores se concluye el diseño de una red de transporte basada en estos esquemas celulares a nivel de servicios y en los sistemas de transporte evolucionados a la capa óptica.

Capítulo III

Metodología

En este capítulo se introducen las fases que darán cumplimiento a los objetivos del presente proyecto.

Se inicia con una fase de investigación, principalmente sobre los sistemas celulares, las redes de transporte y los equipos existentes en el mercado; posteriormente tenemos la fase de estudio, análisis y desarrollo necesarios para el diseño de la red y finalmente la fase de culminación donde se emiten las conclusiones correspondientes al desarrollo del proyecto. En la figura 22 se explica en resumen las fases y las actividades en cada una de ellas.

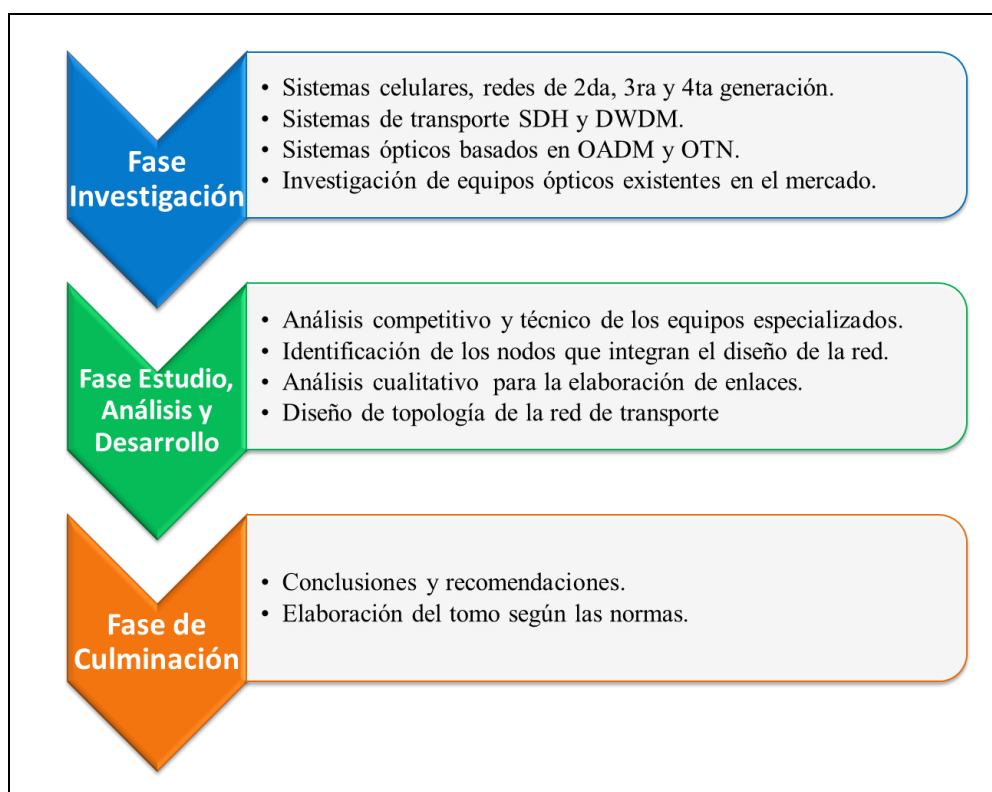


Figura 22. Flujo de fases y actividades del proyecto (Fuente Propia)

III.1 Fase de Investigación

En esta fase se procede a analizar y familiarizar con el proyecto, para luego estudiar todo lo relacionado con los sistemas celulares, las redes de transporte y las tecnologías para la concentración de tráfico.

La investigación está basada en los siguientes tópicos:

- Funcionamiento de los sistemas celulares.
- Sistemas de Segunda generación (Redes GSM, GPRS, EDGE).
- Sistemas de Tercera generación (Redes UMTS, HSDPA).
- Sistemas de Cuarta generación (Redes LTE).
- Redes de transporte SDH.
- Redes de transporte WDM – DWDM.
- Sistemas ópticos basados en OADM.
- Sistemas ópticos basados en OTN.

En esta fase se incluye también la investigación de los equipos existentes en el mercado, con la finalidad de comparar y elegir aquellos que se adaptan mejor según el diseño a lograr y las especificaciones y necesidades de la operadora.

Para dar cumplimiento a la investigación se inicio mediante un esquema con una visión global de los parámetros y características de los sistemas celulares y de transporte, así como los sistemas ópticos basados en OADM y OTN (figura 2.1). Con respecto a las fuentes consultadas se trabajo directamente en la empresa con una amplia gama de fuentes bibliográficas provenientes de la biblioteca de la misma y proyectos afines realizados anteriormente. También se utilizaron fuentes digitales, como libros especializados propiedad de la empresa y fuentes de internet.

Todas las consultas y la información de interés fue registrada en una ficha (elaborada en Excel) con la finalidad de tener organizado todo el material correspondiente a las referencias y las respectivas citas.

Con todo esto se pretende obtener las herramientas necesarias para comenzar con el diseño de la red, elaborar el marco teórico del Trabajo Especial de Grado y los resultados en función del estudio y análisis de las características de los equipos.

III.2 Fase de estudio, análisis y desarrollo

Aquí es evaluada la información teórica obtenida. Esta evaluación se considera necesaria para la comprensión apropiada del funcionamiento de los equipos y sistemas que integrarán el diseño de la red de transporte óptico. Posteriormente al comprender las características y funcionamiento de los elementos escogidos se procede a implementar las herramientas definidas a continuación, que se consideran indispensables para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados.

El análisis y desarrollo de esta fase se centra en los siguientes puntos:

- Análisis competitivo y técnico de los equipos especializados en la red de transporte que cumplan con los requerimientos de diseño.
- Identificar los nodos que integran el diseño de la red, su localización geográfica y evaluación de los enlaces que permiten interconectarlos.
- Análisis cuantitativo necesario para la elaboración de los enlaces ópticos, tomando en cuenta parámetros como pérdidas por distancia y dispersión cromática.
- Diseño de la topología de la red de transporte incluyendo el funcionamiento de los equipos dentro de la red, y como trabajan a nivel óptico y a nivel de servicios.

El análisis competitivo y técnico resulta de las características y especificaciones de cada uno de los equipos. Se empleará la herramienta estratégica y comparativa FODA para destacar las características de cada uno de ellos.

Para identificar los nodos que integran la red, la operadora entregó la información de localización geográfica de cada uno de los sitios. Estos datos se organizan en tablas y se ubican los sitios mediante la herramienta gratuita propiedad de Google INC, *Google Earth*, para enlazar todos los puntos.

Se establecen cuatro tramos para optimizar la capacidad de la red, e incrementar el tráfico que circula por estos puntos, ubicándose la mayor concentración en los centros más poblados, que según los datos de la operadora, son las capitales de los estados beneficiados por el proyecto.

Una vez establecidos los puntos en el mapa, nuevamente a través de Google Earth, se determinaron las distancias entre cada nodo y formalizaron las tablas correspondientes.

Para el análisis cuantitativo de los enlaces ópticos a realizar, nos apoyamos en un software que calcula con precisión y de forma óptima los parámetros que afectan los enlaces, simplemente con colocar las distancias entre cada uno de los nodos, asumir las características de los equipos a utilizar y tomando en cuenta el estándar de la fibra monomodo SMF según la norma G.652 de la ITU-T.

Finalmente para el diseño de la red de transporte, vamos a enfocar nuestro esquema de red en la topología y la capa de servicios, evaluando las conexiones SDH y el tráfico de datos en las redes existentes. El desarrollo completo de esta fase se refleja en el Capítulo IV Desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

III.3 Fase de Culminación

Para esta última fase, se entregan las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos producto del diseño de la red de transporte con los equipos elegidos para el proyecto, los datos de la operadora y los datos de los nodos a interconectar. Además se elaboró el tomo final del Trabajo Especial de Grado, considerando en el aspecto formal las pautas de la UCAB y las normas de la IEEE.

Capítulo IV

Desarrollo

En este capítulo se explica en detalle, en que consistieron las diversas etapas que contribuyeron al desarrollo del diseño de la red de transporte de fibra óptica. Una vez completado el estudio de todos los conocimientos teóricos y con la información de los distintos equipos, se analizan los requerimientos para la red de transporte.

Esta etapa se concentra en explicar la fase de estudio, análisis y desarrollo de la metodología anteriormente expuesta. Como se mencionó en el Capítulo III Metodología, el diseño de la red de transporte incluye el estudio de los equipos, las consideraciones de la operadora, los parámetros que afectan los enlaces de fibra óptica y los diagramas de la red vista desde la capa óptica y la capa de servicio.

IV.1 Análisis competitivo y técnico

Aquí es evaluada la información producto de la investigación de las marcas y modelos de los equipos existentes. Como mencionamos el análisis competitivo y técnico de los equipos es producto de las características y especificaciones de cada uno.

El análisis competitivo es un proceso que ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de la marca y modelo de los equipos, así como las oportunidades y amenazas que afectan dentro de su mercado objetivo (David, 2003).

Para esto utilizamos la herramienta estratégica FODA (Fortalezas – Oportunidades – Debilidades – Amenazas) que mediante tablas comparativas nos permite analizar, el mejor equipo en términos de su más cercano competidor. En la tabla 6 se muestra un cuadro ejemplo de un análisis estratégico mediante esta herramienta.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas

Tabla 6. Ejemplo de Análisis competitivo basado en la herramienta FODA (Fuente propia)

Una vez analizado cada uno de los desarrollos de los distintos proveedores, se hacen las comparaciones de cada uno, finalmente se toma la decisión de acuerdo según las consideraciones del diseño, y lo que se quiere lograr.

Estudios recientes sobre posicionamiento de proveedores a nivel mundial y equipos especializados en concentrar tráfico utilizando medios ópticos nos dan a conocer las empresas que compiten en el mismo ámbito. En la figura 23 se muestran las cuotas de mercado que ocupan las principales empresas desarrolladoras de equipos basados en fibra óptica esto según los datos obtenidos del informe de la consultora OVUM de enero de 2012.

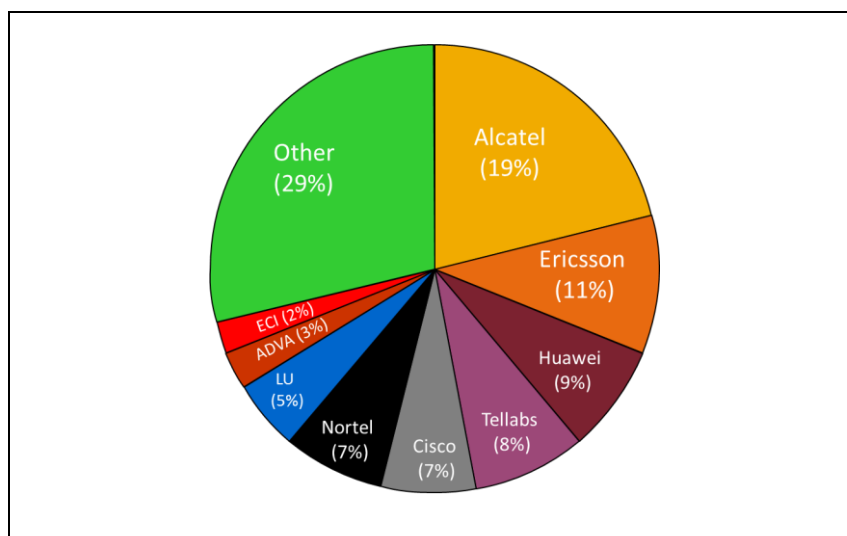


Figura 23. Cuotas de Mercado (OVUM, 2012)

De este estudio se desprende información adicional sobre los distintos proveedores y equipos. Para efectos del análisis competitivo utilizaremos cuatro de las marcas con mayor cuota de mercado y que además tienen tecnología y sistemas ópticos basados en OADM y OTN. En la tabla 7 se presentan los proveedores que serán objeto de análisis.

Marca	Cuota de Mercado	Tecnología de equipos
Alcatel	19%	Metro ROADM
Ericsson	11%	Éxito en aplicaciones LH y carece de ADMs
Cisco	7%	Desarrollos iniciales en DWDM/ROADM
Huawei	9%	Más interesado en desarrollos OTN
Tellabs	8%	Éxito en DWDM – ROADM

Tabla 7. Proveedores y principales desarrollos ópticos (OVUM, 2012)

Motivado a que el proveedor Ericsson no tiene desarrollos basados en soluciones ópticas de concentración de tráfico como OADM y OTN, no será incluido dentro del análisis competitivo.

El análisis da como resultado, de acuerdo a las características de los distintos desarrollos y sus capacidades, cuáles son los proveedores y equipos a utilizar, entendiendo que estos permiten cumplir con el esquema de diseño de la red de transporte.

Es importante señalar que con este análisis sustenta el uso del proveedor Tellabs y los equipos de la serie óptica 7100/7100N OTS y 7300, estos desarrollos se comparan con equipos homólogos de otros proveedores, midiendo la factibilidad del diseño.

IV.2 Identificación de los nodos que integran el diseño de la red

Para identificar los nodos que integran la red, la operadora entregó la información de localización geográfica de cada nodo existente con el fin de evaluar y organizar esta información, para ser utilizada dentro del diseño.

Como bien se menciona en las limitaciones y alcances de este proyecto, los estados beneficiados serán Guárico, Anzoátegui, Maturín y Bolívar. Como los grandes centros poblados se encuentran en las capitales de estos estados, se

incluyen en las ciudades de Puerto La Cruz, Maturín y Puerto Ordaz, anillos metropolitanos que bordean las ciudades transportando todo el tráfico a los nodos centrales y comunicar con la red DWDM existente.

Para el estado Guárico, se emplean enlaces en cadena para recoger todo el tráfico, dando inicio en su capital San Juan de Los Morros y pasando por los poblados más importantes de este estado hasta conectar con la ciudad de Anaco en el centro del estado Anzoátegui, en el municipio Anaco. A partir de este punto se produce una partición hacia las ciudades principales donde se colocan los anillos metropolitanos produciéndose los tramos Anaco-Puerto La Cruz, Anaco-Maturín, Anaco-Puerto Ordaz. La tabla 8 se muestra los cuatro tramos en los que se desempeña el proyecto.

Tramo	Proyecto	Localidades Beneficiadas	Estado
1	F.O San Juan de los Morros – Anaco	San Juan, Dos caminos, El Sombrero, El Corozo, Chaguaramas, Flor de Pascua, Valle la Pascua, San Marcos, Tucupido, Zaraza, Araguabna, Anaco, Algarrobo, Viento Fresco	Guárico – Anzoátegui
2	F.O. Anaco – Puerto La Cruz	Viento Fresco, San Mateo, Curataquiche, Tapacoron, Montones, Sucre, Carbonal, Las Colinas, Puerto La Cruz, Pueblo Nuevo.	Anzoátegui
3	F.O. Anaco – Maturín	Urica, Tejero, Punta de Mata, Furrial, Corozo, AltoGuri, Guarapiche, Paraíso y Maturín.	Anzoátegui – Maturín
4	F.O. Anaco – Puerto Ordaz	Algarrobo, Cantaura, El Tigre, Farallones, Moron, Marhuanta, Las Palmas, Altavista, Aeroguary, Cerro Quemao y Puerto Ordaz	Anzoátegui– Bolívar

Tabla 8. Tramos y localidades beneficiadas con el proyecto (Fuente Propia)

Con esta información y haciendo uso de la herramienta gratuita *Google Earth* (propiedad de Google INC) se procedió a incluir cada uno de los sitios según la información entregada por la operadora. En la figura 24 se muestra el

esquema sobre *Google Earth* de los 4 tramos definidos y de todas las localidades agregadas al mapa.

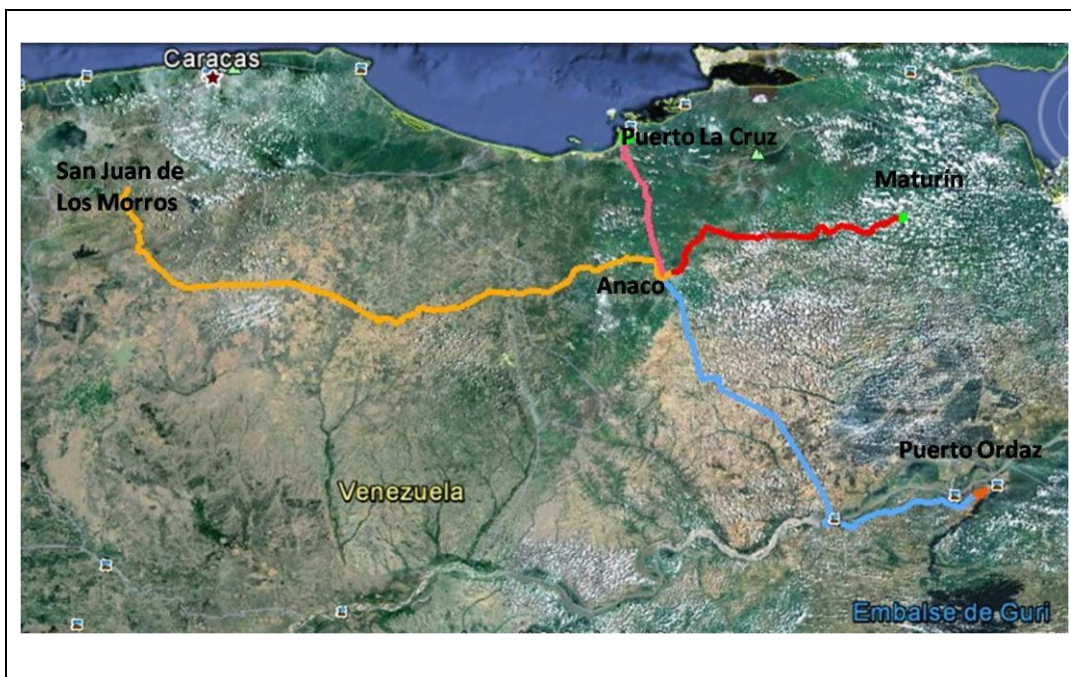


Figura 24. Tramos definidos en el proyecto con Google Earth (Fuente propia)

Posteriormente se determinaron las distancias entre cada nodo y formalizaron las tablas correspondientes. Nuevamente esto se realiza a través de *Google Earth*, que ofrece varias herramientas que los usuarios pueden utilizar para medir distancias y calcular tamaños.

Para medir la longitud, área y circunferencia, se tienen dos opciones:

- Haciendo clic en el icono Regla de la barra de herramientas (Herramientas>Regla), se activa la casilla Navegación con ratón (si no está seleccionada) y, por último, se hace clic en el visor 3D para empezar a medir. Es posible seleccionar diferentes pestañas dentro de la herramienta de medición para cambiar la forma (Ruta, Polígono, Círculo) con la que se está midiendo. Se podrá ver las medidas en el cuadro de diálogo mientras se hace el trazado. Con un clic en Guardar se obtienen las mediciones como archivo KML.

- Para crear una nueva forma, haciendo clic en el icono Ruta o Polígono de la barra de herramientas (Añadir>Ruta/Polígono), se selecciona la pestaña Medidas del cuadro de diálogo y, por último, se hace clic en el visor 3D para empezar a dibujar. Para seleccionar una forma existente, se hace clic con el botón derecho en la forma situada en el panel Lugares, selecciona Propiedades (en un PC) y, por último, selecciona la pestaña Medidas.

Estas mediciones se realizan tomando en cuenta que el tendido de fibra óptica para enlazar los nodos, se hace a través de las vías de comunicación terrestres (Carreteras, autopistas, avenidas y calles). La operadora cuenta con todos los permisos para realizar el tendido.

En el **Anexo C – Datos de localización geográfica de los nodos del proyecto** presentamos la información correspondiente a cada uno de los tramos del proyecto, con la respectiva localización de los nodos, su clasificación y el tipo de tráfico que maneja.

La información de localización geográfica es fundamental para calcular las distancias y realizar los enlaces, también la información del tipo de tráfico ayuda en la constitución del diseño visto desde la capa de servicios. En el capítulo V se presentan los resultados de las distancias entre los enlaces.

IV.3 Análisis Cuantitativo de los enlaces ópticos

Para calcular los parámetros de los enlaces ópticos, se utiliza la herramienta propiedad de la empresa Tellabs, denominada *Tellabs 7196 Optical Subnet Planning (OSP)*, Tellabs 7196 Planificador Óptico de Subredes; software especializado en el área de planeación de redes ópticas.

Esta herramienta de diseño de red óptica ayuda a los planificadores a definir los parámetros de un despliegue óptico, usando los equipos de la Serie Tellabs 7100 Sistema de Transporte Óptico (OTS), ver los trazados resultantes y exportar toda la información en forma de lista de materiales. La herramienta

combina elementos de navegación, cartografía y capacidad de cálculo (Tellabs , 2011).

Tomando nuevamente la figura 24 sobre los tramos definidos del proyecto, las tablas de especificaciones de latitud y longitud y con los resultados obtenidos de las distancias entre cada uno de los nodos, se procede a realizar un ejemplo de cálculo de un enlace tomando en cuenta los parámetros que afectan la fibra.

Para realizar los cálculos necesarios en función de la herramienta señalada, utilizando únicamente los nodos de concentración de tráfico. El software se acerca al diseño de redes con un enfoque flexible, con capacidad para soportar demandas futuras, se optimiza la red por etapas y se analizan los distintos escenarios.

Con esta herramienta se pueden crear anillos o cadenas de enlaces lógicos, conectados mediante fibra se puede escoger el tipo de fibra y los elementos y equipos que conforman cada uno de los tramos de acuerdo a los equipos de la marca Tellabs 7100/7100N OTS. Para los efectos de diseño la red de transporte óptico utiliza sistemas DWDM de capacidad 44 canales con equipos OADM (denominados F4, en el software de planificación).

En cada uno de los tramos se tiene una configuración similar con respecto a las consideraciones de diseño. En la tabla 9 se presenta las configuraciones de cada tramo de los enlaces.

Tramos	Especificaciones	Número de nodos
San Juan de los Morros – Anaco	Enlaces en cadena	7 nodos de concentración
Anaco – Puerto La Cruz	Enlaces en cadena Anillo Metropolitano en Puerto La Cruz.	5 nodos de concentración
Anaco – Maturín	Enlaces en cadena Anillo Metropolitano Maturín	4 nodos de concentración
Anaco – Puerto Ordaz	Enlaces en cadena Anillo Metropolitano Puerto Ordaz	6 nodos de concentración

Tabla 9. Configuraciones de los tramos del proyecto (Fuente Propia)

Para crear una cadena basada en DWDM se utiliza el software de planificación para designar los caminos de fibra deseados.

A continuación se realiza el cálculo de un enlace de fibra utilizando dos de los nodos involucrados en el tramo San Juan de Lo Morros – Anaco, específicamente los nodos San Juan y El Sombrero. Todos los enlaces se realizaron de forma similar y los resultados se encuentran en el Capítulo V de este Trabajo Especial de Grado.

En la ventana de presentación se seleccionan las características de cada uno de los nodos y se traza una línea de fibra entre ellos para establecer el enlace. Esto se repite para todos los nodos que se desean agregar a la cadena. En la figura 25 se muestra la creación de los enlaces de fibra entre todos los nodos.

Para calcular ahora los valores correspondientes a los parámetros que afectan los enlaces, es necesario realizar una demanda punto a punto. Con esto se genera en la ventana de navegación, un cuadro donde se agregan los datos de los nodos que conforman cada enlace, para realizar una documentación completa de cada uno. Se agrega la información de la operadora (Nombre de los sitios - Localización geográfica) y los datos de distancia obtenidos a partir de la herramienta Google Earth.

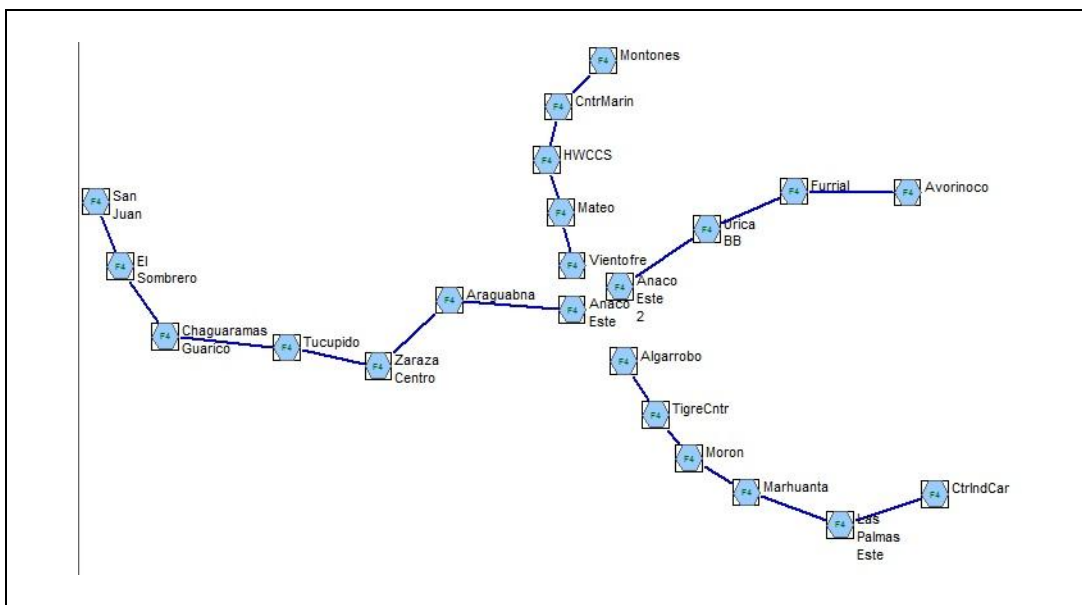


Figura 25. Enlace de fibra de los nodos de concentración con el software 7196 OSP

Para cada uno de los enlaces y con la demanda punto a punto, la herramienta calcula los parámetros de la tabla 10.

Parámetros	Características
Pérdidas y Atenuaciones	Representa la disminución de la energía luminosa mientras se propaga por la fibra. Es determinante en cuanto a la distancia que puede tener el enlace entre el emisor y el receptor si no se cuenta con dispositivos medios de regeneración.
Dispersión Cromática (CD)	Sumatoria de dos efectos diferentes, dispersión en la guía de onda, la energía se propaga no solo en el núcleo, sino una parte en el revestimiento y también la dispersión del material debido a que el índice de refracción afecta de forma diferente a señales con longitudes de onda diferente, causando en la recepción un alargamiento temporal del impulso.
Pendiente	Tasa de dispersión de cambio a lo largo de la fibra medida en ps/nm/km.
Dispersión por polarización de modo (PMD)	Ocurre cuando dos componentes ortogonales de polarización viajan a distinta velocidad de grupo, llegando en tiempos distintos al final de la fibra. En general este parámetro varía con la distancia. Provoca un ensanchamiento de los pulsos, provocando interferencia entre bits, limitando la velocidad de transmisión y el ancho de banda.
Pérdidas de Retorno Óptico (ORL)	Es la razón entre la potencia incidente y la potencia reflejada a la entrada de un dispositivo, como una sección de un cable, un enlace o en un dispositivo. Representa un problema en sistemas DWDM y sistemas de alta velocidad a la ventana de 1550nm.

Tabla 10. Parámetros de la fibra calculados con 7196 OSP (Tellabs, 2011)

Estos parámetros están definidos por el tipo de fibra monomodo que se utiliza para los enlaces del diseño. El tipo de fibra a utilizar es la Fibra Monomodo Estándar (SMF- *Estandar Single Mode Fiber*), que cuenta con las mejores características de acuerdo a la norma ITU G.652.

En la figura 26 se muestra los cálculos de los parámetros realizados con la herramienta 7196 OSP en el enlace San Juan – El Sombrero del tramo San Juan de Los Morros. Se puede apreciar como para el enlace, la herramienta, calcula parámetros como Pérdidas, Dispersión Cromática (CD), Dispersión de Modo Polarizado (PMD).

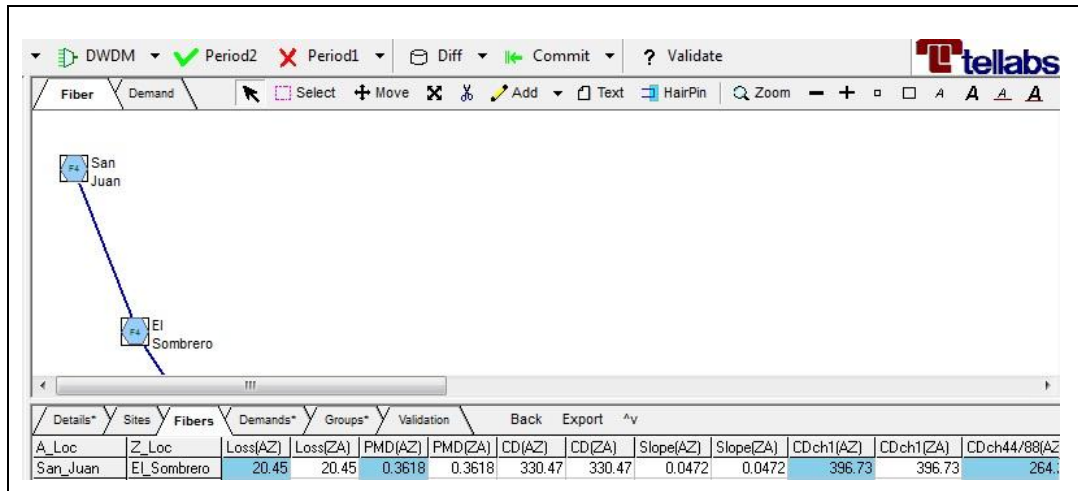


Figura 26. Cálculo de los parámetros del enlace San Juan – El sombrero con 7196 OSP

En la figura 27 se muestra como la herramienta hace el cálculo de los valores de potencia del enlace San Juan – El sombrero.

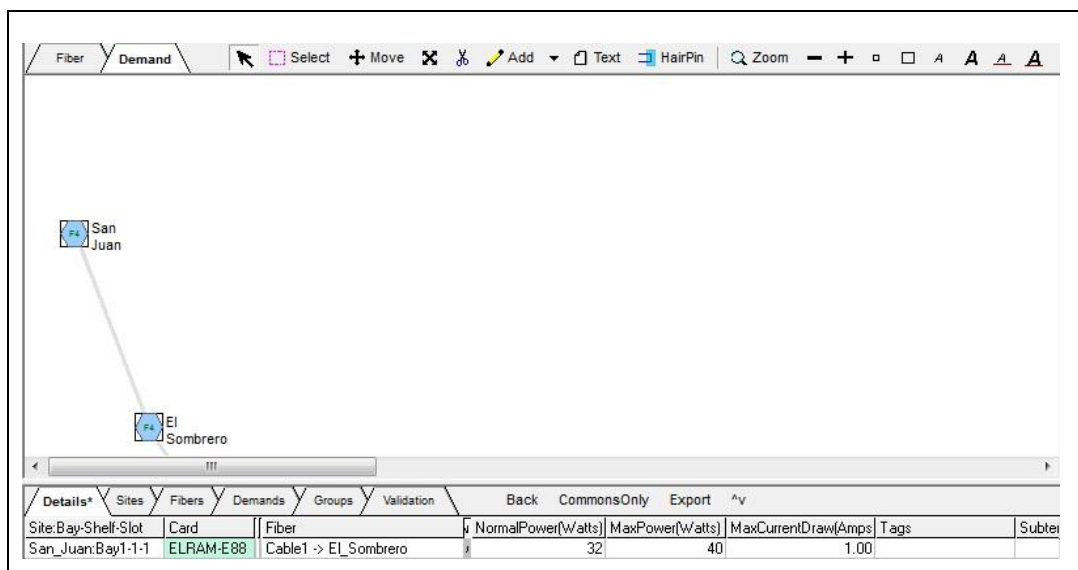


Figura 27. Cálculo de los valores de potencia del enlace San Juan - El sombrero

La herramienta al calcular estos parámetros, muestra un margen de error y señala aquellos valores y enlaces en los que los parámetros sobrepasan las especificaciones de la fibra por tanto se requiere ajustar las distancias.

IV.4 Diseño de la red de transporte

Finalmente para el diseño de la red de transporte, vamos a enfocar nuestro esquema en la capa óptica y la capa de servicios, tomando en cuenta los equipos seleccionados, los nodos que conforman la red, las distancias entre estos y los anillos metropolitanos que van a establecer la comunicación en las ciudades más importantes, donde hay una mayor concentración de tráfico como son Puerto La Cruz, Maturín y Puerto Ordaz.

Con respecto a la capa de servicios, se complementa el diseño de la capa óptica con la posibilidad de concentrar distintos servicios gracias a la tecnología DWDM. Estos como SDH e IP, se envían cada uno a través de una longitud de onda para seguir hasta el *Core* o Núcleo de la red donde se encuentran los equipos que concentran el tráfico de voz y datos, manejando las arquitecturas y topologías de la red celular existente y de los sistemas de 2G y 3G.

En la tabla 11 se muestran los servicios y las capacidades que soportan.

Servicios	Capacidades
SDH	STM-1/STM-4/STM-16/STM-64
IP Backhaul	Ethernet, GE, 10GE, 40GE

Tabla 11. Servicios soportados por la red (Fuente Propia)

Con el diseño de la red de transporte se quiere implementar estos servicios sobre la capa óptica, logrando una mayor eficiencia, mejorando la capacidad y estructura. Cada uno de los servicios ofrecidos es colocado, en la capa óptica, sobre una longitud de onda, para ser transportado hasta el nodo central donde se registra el tráfico y de ahí al *Core* o Núcleo de la red.

El diseño a nivel de la capa óptica muestra la interconexión de los nodos de concentración por cada uno de los tramos del proyecto. Estos nodos en el diagrama están representados por el equipo 7100 Nano de la serie óptica de Tellabs. También hay nodos de agregación, que están conectados mediante enlaces dedicados de 10G, que representan puntos y localidades que se encuentran entre los nodos de concentración. Los nodos de agregación, representados por el

equipo 7325 de la serie óptica de Tellabs se conectan directamente al nodo de concentración más cercano.

A nivel de la capa de servicios, en el diseño, los nodos ópticos se conectan a las redes ya existentes en la operadora, el tráfico que recogen los nodos de concentración proviene principalmente de servicios como SDH donde se obtiene el tráfico proveniente de las redes GSM de la operadora. También los nodos de concentración recogen el tráfico IP Backhaul, proveniente de las redes UMTS y GPRS – EDGE (Servicios de datos).

En la figura 28 se presentan los elementos que conforman los diagramas del diseño de la red de transporte.

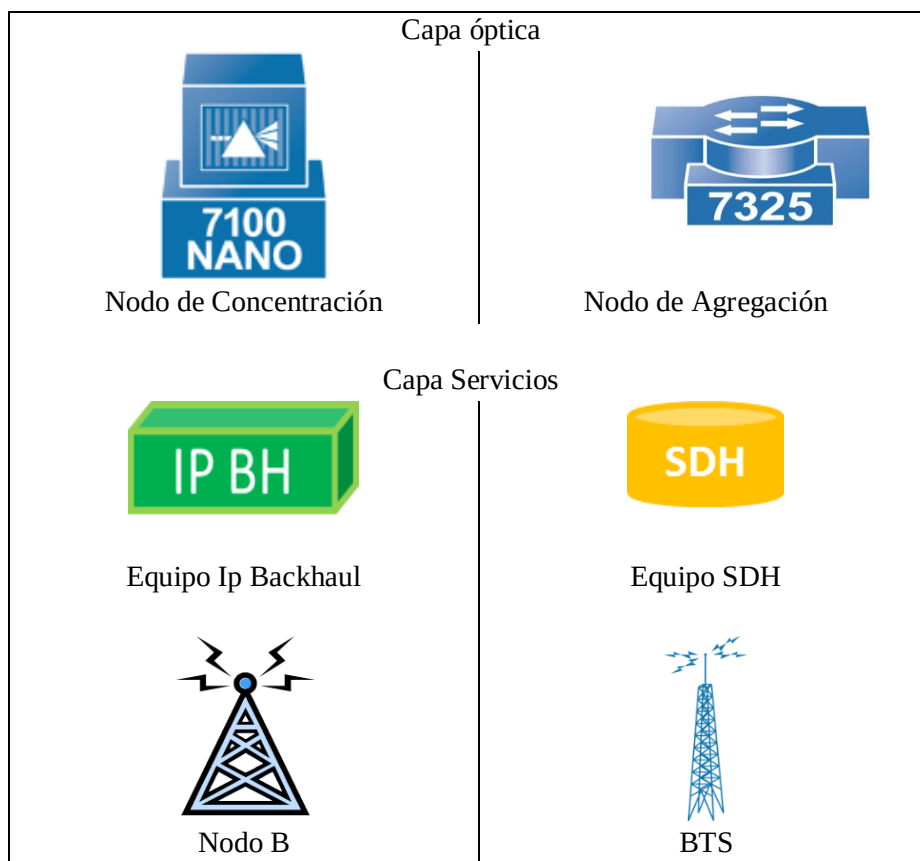


Figura 28. Elementos que conforman el diseño de la red de transporte.

Todos estos servicios se recogen sobre equipos conectados a los nodos de concentración, de allí son transportados al nodo central a través de una longitud de onda para cada servicio, mediante la red DWDM.

El transporte del nodo central al núcleo de la red, varía dependiendo del tramo del proyecto. En el caso del tramo San Juan de Los Morros – Anaco, el transporte se lleva al núcleo, ubicado en Valencia, a través de la red DWDM existente. Para el tramo Anaco – Puerto La Cruz el nodo central, ubicado en la ciudad de Puerto La Cruz, transporta el tráfico al núcleo a través de la red DWDM existente.

Para los tramos Anaco – Maturín y Anaco – Puerto Ordaz, los nodos centrales, ubicados en Maturín y Puerto Ordaz respectivamente, tienen salida hacia el núcleo de la red a través de los puntos descritos en los tramos San Juan de Los Morros – Anaco y Anaco – Puerto La Cruz. En estos casos, el tráfico que recogen los nodos de concentración, producto de los servicios SDH e Ip Backhaul, en sus nodos centrales, es transportado mediante dos longitudes de onda diferentes hacia la salida al núcleo.

Los nodos centrales tienen como función principal procesar toda la información proveniente de los nodos de concentración desplegados en cada uno de los tramos, siguiendo las arquitecturas de red celular instaladas en la actualidad.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos en cada una de las etapas desarrolladas, competitividad de los equipos, análisis de los enlaces y el diseño de la red de transporte utilizando la información aportada por la operadora.

Capítulo V

Resultados

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos en la fase de estudio, análisis y desarrollo. Dichos resultados se presentan con la finalidad de complementar el diseño de la red de transporte óptico.

Este diseño, viene acompañado con el análisis competitivo de las marcas y la elección de los equipos que mejor se adaptan al desarrollo del proyecto, el análisis de la información otorgada por la operadora define los nodos y poblaciones que se benefician así como su respectiva localización geográfica arrojando las distancias ente nodos para interconectar la región.

Finalmente el diseño de la red de transporte incluye las etapas mencionadas en la figura 29.

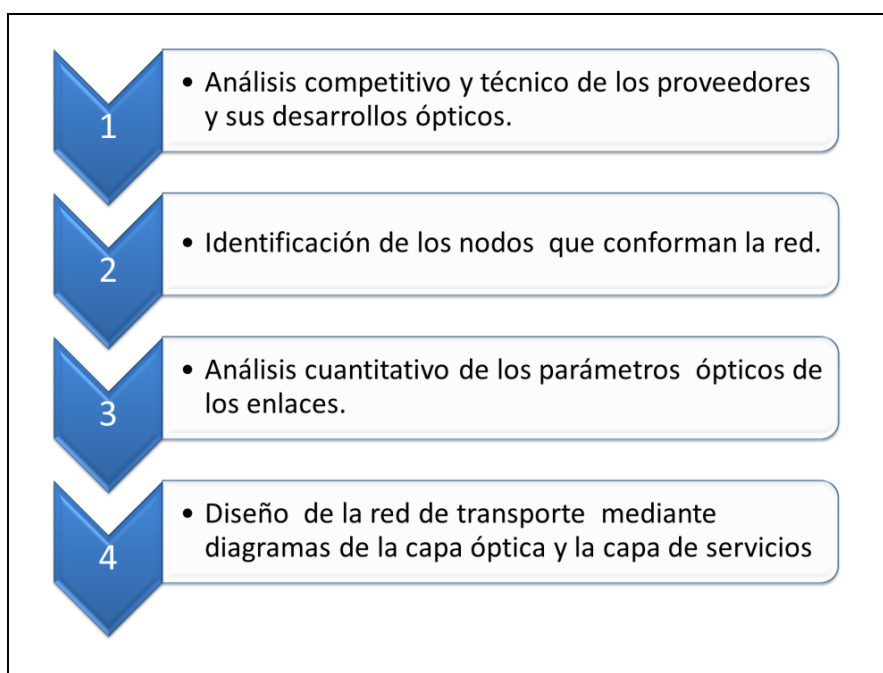


Figura 29. Etapas del diseño de la red de transporte (Fuente Propia)

V.1 Análisis competitivo y técnico de los equipos ópticos

Después de organizar la información correspondiente a las características y especificaciones de las soluciones ópticas que ofrecen los distintos proveedores, se muestra el análisis FODA de cada uno de los equipos existentes en el mercado. A partir de este análisis se justifica el uso de los equipos para el diseño de la red de transporte.

A continuación se presenta la información de cada uno de los equipos, correspondientes a los proveedores principales de soluciones ópticas. En la tabla 12 se muestran los proveedores y los equipos que se analizan desde el punto de vista competitivo y técnico.

Proveedores	Equipos
Alcatel-Lucent	1850 TSS
	1696 Metro-Span
	Metrópolis WSS
Huawei	Optix Metro 6100/6040 DWDM
Cisco	15454 MSTP
Tellabs	7100/7100N OTS
	7300

Tabla 12 Proveedores y Equipos para el análisis

V.1.1 Análisis Competitivo de Alcatel-Lucent

Este proveedor Francés de equipos de telecomunicaciones, enfocado básicamente en el área de cables submarinos y líder en soluciones ópticas, tiene la principal cuota de mercado, de acuerdo a los datos del informe OVUM: Sistemas ópticos de alta velocidad de enero 2012.

A continuación se presenta el estudio competitivo y técnico de los desarrollos ópticos de este proveedor.

V.1.1.2 Equipo 1850 TSS

En la tabla 13 se presenta el análisis competitivo del equipo 1850 TSS, este desarrollo comprende una generación de plataforma de transporte multi-servicio, integral con DWDM incluida una capa de OADM, con elementos de conmutación universal como la multiplexación por división de tiempo TDM (*Time Division Multiplexing*) y la conmutación de paquetes.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Campaña de marketing fuerte atrae mucho la atención. ▪ Integra TDM y conmutación de paquetes en el mismo núcleo ▪ Nacido con toda la SDH y las características de Carrier Ethernet ▪ Líder en la T-MPLS	▪ ROADM no optimizado por completo. ▪ No se conoce exactamente número de Longitudes de Onda soportadas. ▪ La superposición con otros productos de DWDM, con características similares como 1696 MetroSpan.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ Tarjeta de ROADM ofrece flexibilidad en la capa óptica. ▪ Las características DWDM consisten principalmente en interfaces de colores. ▪ Tarjeta de escalabilidad elegir el tamaño adecuado de la plataforma 1850.	▪ Capacidad de aprovechar su base de clientes. ▪ Otros desarrollos sólidos alrededor de ROADM.

Tabla 13. Alcatel-Lucent Equipo 1850 TSS (Alcatel-Lucent, 2012)

V.1.1.3 Equipo 1696 Metro-Span

En la tabla 14 se presenta el análisis competitivo del equipo 1696 Metro-Span, este desarrollo trabaja sobre una versátil plataforma WDM metropolitana, puede adaptarse a sistemas amplificados y no amplificados, siendo escalable hasta 32 canales, compatible con ROADM y soporte para DWDM.

Con respecto a su arquitectura, se pueden construir anillos de hasta 900Km con hasta 20 nodos. Soportando un máximo de 32 longitudes de onda por grado, con una separación de 100Ghz entre canales.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Gestión transparente de longitud de onda. ▪ Control dinámico. ▪ El control de la potencia óptica sobre una base por canal. ▪ Alto nivel de automatización. ▪ Gestión automatizada de la potencia óptica ▪ Habilita longitud de onda de transporte de terceros (Servicios DWDM). ▪ Reconfigurable (R) OADM y OADM estático basados en una plataforma única y flexible.	▪ Profundidad de la plataforma. ▪ Profundidad de chasis. ▪ Generalmente visto como menos eficiente que WSS. ▪ Sólo 32 longitudes de onda por grado.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ Aplicaciones Multi-grado. ▪ Crecimiento más allá de 2 grados. ▪ Mezcla de diferentes interfaces de cliente de 10 Gbps. ▪ Supervisión del rendimiento óptico. Alcatel utiliza ondas moduladas, no hay medida posible OSNR. ▪ Tiene su propia MSPP que se superpone con las aplicaciones de ROADM. ▪ Hasta 32 longitudes de onda por grado.	▪ Nuevas marcas con equipos completos y precios más accesibles.

Tabla 14. Alcatel Equipo 1696 Metro-Span (Alcatel-Lucent, 2012)

V.1.1.4 Equipo Metrópolis WSM

Este desarrollo óptico constituye la evolución del sistema de gestión de Alcatel-Lucent para incluir la configuración de los ROADM para una generación eficiente de la red de transporte DWDM. En la tabla 15 se muestra el análisis competitivo de este equipo.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Sistema de gestión Navis soporta todos los productos ópticos.	▪ Interfaz de usuario complicada. ▪ Gestión incompleta de los equipos ópticos.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ Aplicaciones de manejo de tráfico en el anillo. ▪ ROADM no compatible con más de dos grados. ▪ No hay herramientas de modelado de la red. ▪ Plataformas DWDM metropolitanas.	▪ Impulso de otras marcas en la base de datos de clientes ▪ Navis, sistema de gestión, no es compatible con todos los productos ópticos.

Tabla 15. Alcatel-Lucent Equipo Metrópolis WSM (Alcatel-Lucent, 2012)

V.1.2 Huawei

Proveedor con sede en China, con un crecimiento y posicionamiento acelerado, alta cuota de mercado de acuerdo a los datos del informe OVUM: Sistemas ópticos de alta velocidad de enero 2012. Tiene gran presencia en América Latina.

V.1.2.1 Optix Metro 6100/6040 DWDM

Este desarrollo permite hasta 40 longitudes de onda, con interfaces de servicios de 16Mbps hasta 10Gbps con alta capacidad para soportar DWDM con la configuración de ROADM. En la tabla 16 se presentan los resultados del análisis competitivo de estos equipos.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Muy agresivo y exitoso en la infraestructura óptica a nivel internacional. ▪ Una amplia gama de interfaces de servicio como Ethernet, SONET y SDH. ▪ Posibilidad de combinar con el sistema DWDM de largo recorrido, el Optix 1600, para redes troncales integradas y redes nacionales de Metro. ▪ Posibilidad de combinar con routers o equipos móviles.	▪ Pocos desarrollos orientados a ROADMs. ▪ Tecnología de bloqueo de longitud de onda en el ROADM Huawei. ▪ No más de 2 grados ▪ No más de 40 canales en el Optix Metro 6100/6040.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ WSS modernos basados en ROADMs. ▪ Con una mayor flexibilidad hasta 2 grados. ▪ 40 longitudes de onda.	▪ Gran competencia en desarrollos fuertes con soluciones basadas en ROADMs. ▪ Los desarrollos tardan considerablemente entre el ofrecimiento y el desarrollo.

Tabla 16. Huawei Equipo Optix Metro 6100/6040 (Huawei, 2012)

V.1.3 Cisco

Con sede en Estados Unidos, este proveedor es líder en desarrollos basados en el Protocolo de Internet (IP) en las tecnologías de redes, en este sentido cuenta con una cuota de mercado alta, sin embargo en el plano óptico los desarrollos iniciaron hace unos pocos años y ha alcanzado una cuota de mercado media de acuerdo a los datos ofrecidos por la consultora OVUM en su informe de enero de 2012, Sistemas Ópticos de Alta Velocidad.

V.1.3.1 15454 MSTP

El desarrollo ofrece 32 longitudes de onda DWDM con una plataforma Metro, proporciona capacidades importantes como una amplia interfaz de servicios, con soporte para SONET/SDH con agregación multi-servicio o la

interconexión directa con interfaces DWDM en la capa 3. La tabla 17 muestra el análisis competitivo de este desarrollo.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Soporte para la interfaz eléctrica DS1/DS3. ▪ Funcionalidad completa MSPP. ▪ Apoyo 40G a futuro. ▪ Multi-grado, soportar hasta 8 grados. ▪ Aprovecha el lado del router principal del negocio. ▪ Banda L de apoyo.	▪ Sólo 17 ranuras por estante y 5 están reservados para OSC, las tarjetas de gestión e inter-plataforma módulo de comunicación, dejando sólo 12 para otros módulos. ▪ La estantería está configurada para soportar varios grados ROADM, entonces no hay espacio para los amplificadores. ▪ Principales necesidad de apoyar a un nodo de grado mayor a 2. ▪ 32 longitudes de onda única ▪ Muchas tarjetas de diferentes interfaces de servicio. ▪ No todos son completamente ajustables.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ ROADM se utiliza para incrementar significativamente la capacidad, es decir, 4 nodos con 8 grados, necesitan 6 estantes. ▪ Se necesita un módulo de interfaz independiente para cada servicio diferente, utiliza un SMTM-U. ▪ Sólo son compatibles con 32λ.	▪ Gran base instalada. ▪ Crea una barrera de entrada, por la falta de desarrollos ópticos. ▪ La inversión en desarrollos de router supera pasar por los gastos en desarrollos de transporte de la red. ▪ La mala utilización espacio teniendo en cuenta las asignaciones de tamaños de módulos.

Tabla 17. Cisco Equipo 15454 MSTP (Cisco System, 2012)

V.1.4 Tellabs

Este proveedor, con sede en Estados Unidos, es una empresa mediana con grandes aportes en soluciones ópticas que permiten agregar ancho de banda de forma rápida y remota, proporciona agregación y conmutación de paquetes de forma eficiente permitiendo sobre DWDM, no solo servicios tradicionales como SDH sino nuevas tendencias como OTN.

V.1.4.1 Tellabs 7100/7100N OTS

Este desarrollo ofrece tecnologías ópticas y servicios en una sola plataforma integrada, apoyando una verdadera red de convergencia, soporta hasta 88 longitudes de onda con velocidades de 10 y 40Gbps, utiliza módulos de servicios inteligentes que acelera la prestación de servicios y recursos de la red. En la tabla 18 se presenta los resultados del análisis competitivo de estos equipos.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Soporta tecnologías tradicionales SONET/SDH y emergentes como Ethernet y OTN. ▪ Núcleo soporta hasta 88 longitudes de onda a velocidades de 10 y 40Gbps. ▪ Plano de control basado en ASON/GMPLS, verificación en tiempo real. ▪ Multi-plataforma de tecnología. ▪ Multi-nivel ROADM. ▪ Totalmente escalable.	▪ Necesita espacio amplio para instalación.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ Incorpora tecnología óptica y de servicio en una sola plataforma integrada. ▪ Permite a proveedores satisfacer el ancho de banda y una expansión a través de ROADM de varios grados. ▪ Gran tolerancia a fallos y fiabilidad de la red. ▪ Instalación rápida y sencilla. ▪ Planificación y diseño de servicios e instalaciones a través del software 7196 Planificador de red óptico. ▪ Soporte de anillos entrelazados.	▪ Agresividad en el mercado.

Tabla 18. Tellabs Equipo 7100/7100N OTS (Tellabs INC, 2012)

V.1.4.2 Tellabs 7300 Ethernet Edge Switch

Este desarrollo ofrece una amplia gama de dispositivos, que se ajustan según las necesidades de agregación de tráfico a la red que se requieran. Ofrece una red de paquetes con escalabilidad, resistencia y supervisión de los servicios. Admite servicios de todo tipo como *Backhaul* Móvil, distribución de video y servicios IP. En la tabla 19 se presenta el análisis competitivo de este desarrollo.

Análisis Competitivo	
Situación Interna	
Fortalezas	Debilidades
▪ Sistema de gestión compatible con Tellabs 7100 OTS. ▪ Trabaja con OADM. ▪ Ejerce funciones de capa 2 con capacidad de 24Gbps. ▪ Fácil instalación. ▪ Servicios para redes 2G, 3G y 4G. ▪ 8 clases de servicio por puerto. ▪ Listas de control de acceso. ▪ Servicios Metro-Ethernet	▪ No compatible con el software de planificación óptica.
Situación Externa	
Oportunidades	Amenazas
▪ Combina la tecnología óptica con capacidades de capa de servicios. ▪ Capacidades Full Ethernet. ▪ Integración total de plataforma Multiservicio. ▪ Ocupa poco espacio físico. ▪ Bajo consumo de energía.	▪ Agresividad en el mercado.

Tabla 19. Tellabs Equipo 7325 Ethernet Edge Switch (Tellabs INC, 2012)

Una vez revisadas las características y especificaciones de los equipos, los distintos proveedores, sus cuotas de mercado y de evaluar los requerimientos de la operadora, se evidencia que el proveedor Tellabs con sus equipos de la serie óptica 7100/7100N OTS y 7300, esta calificado para realizar el diseño de la red de transporte óptico.

Para ver con mayor detalle las características y especificaciones de los equipos a utilizar del proveedor Tellabs, se puede revisar el **Anexo D:**

Especificaciones y Características del equipo Tellabs 7100/7100N OTS.
También el **Anexo E: Especificaciones y Características del equipo Tellabs 7325 Ethernet Edge Switch.**

V.2 Identificación de los nodos que integran el diseño de la red

Una vez analizados los datos entregados por la operadora, incluir las coordenadas geográficas de cada uno de los nodos y conformar los tramos de interconexión del proyecto, mediante la herramienta de software *Google Earth*, se hallaron las distancias de cada uno de los enlaces de fibra a realizar.

En la tabla 20 se hace referencia al consolidado de distancias del proyecto, especificando las distancias de cada tramo.

Tramos	Distancia (Km)
F.O. San Juan de los Morros - Anaco	450
F.O. Anaco – Maturín	175
F.O. Anaco – Puerto La Cruz	125
F.O. Anaco – Puerto Ordaz	360

Tabla 20. Consolidado de Distancias de cada tramo (Fuente Propia)

A continuación se presentan las mediciones de las distancias obtenidas por tramos de interconexión. Es importante señalar que entre nodos en ocasiones, las distancias obtenidas son muy cortas, en términos económicos, con las altas capacidades de los equipos a utilizar para concentrar tráfico resultaría sumamente costoso e ineficiente ya que no estaría aprovechando al máximo las funcionalidades de los equipos ópticos.

Con la intención de que el proyecto sea costo-efectivo, aprovechando al máximo las características de los equipos y haciendo la red de transporte lo más eficiente posible, se realiza un espaciamiento equidistante (Distancias Corregidas), esto quiere decir que en la medida de lo posible se utilizan equipos ópticos que concentran el tráfico cada cierta distancia sin que se pierda la calidad y efectividad de los enlaces. La distancia que se ha establecido para cumplir con los parámetros de calidad y efectividad es de 80Km aproximadamente.

Los nodos que se encuentran entre estos nodos ópticos de concentración de tráfico, continúan dentro de la ruta de enlaces establecida, pero como nodos de agregación de tráfico y lo transportan hasta el nodo de concentración más cercano. En estos sitios se instalan equipos ópticos menores que cumplen con la condición de agregar el tráfico hasta los nodos de concentración. Mas adelante en la etapa de diseño se explicara en detalle la interconexión de los nodos de agregación con los nodos de concentración.

V.2.1 Tramo San Juan de los Morros - Anaco

En la tabla 21 se especifican los nodos que conforman el tramo San Juan de los Morros – Anaco, se muestra la distancia entre los distintos enlaces y las distancias corregidas en donde se ubican los nodos de concentración de tráfico.

Puntos de Interés - Nodos	Distancia (Km)	Distancia Corregida (Km)	Tipo de nodo
USANJUAN_B	0	0	Concentración
BTS_Dos Caminos	46,4		Agregación
UELSOMBRERO	35,3	81,7	Concentración
BTS_EL COROZO(Pdh)	44,9		Agregación
BTS_Chaguaramas Guárico	36,1	81	Concentración
BTS_Chaguaramas Pueblo	9,3		Agregación
UFLORDEPASCUA	32,1		Agregación
UVALLELAPASCUA	2,2		Agregación
UHOTELSANMARCOS	1,9		Agregación
UTUCUPIDO	32,6	78,1	Concentración
UZARAZA	53,1		Agregación
UZARAZACENTRO	2,9	56	Concentración
UARAGUABNA	62,6	62,6	Concentración
UANACOCNTR	48,2		Agregación
UALGARROBO	2,2		Agregación
UVIENTOFRE	3,5		Agregación
UANACOESTE	6,7	60,6	Concentración

Tabla 21. Distancias Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

V.2.2 Tramo Anaco – Puerto La Cruz

En la tabla 22 se especifican los nodos que conforman el tramo Anaco – Puerto La Cruz, se muestra la distancia entre los distintos enlaces y las distancias corregidas en donde se ubican los nodos de concentración de tráfico.

Puntos de Interés - Nodos	Distancia (Km)	Distancia Corregida (Km)	Tipo de Nodo
UVIENTOFRE	0		Concentración
UMATEO	35,2	35,2	Concentración
BTS_Curataquiche	28,3		Agregación
UHWCCS	18,8	47,1	Concentración
UTAPACORON	3,2		Agregación
UMONTONES	3,2		Agregación
USUCRE	1,7		Agregación
UCARBONAL	2,3		Agregación
UCOLINAS	2,3		Agregación
UMAXPLAZA	1,1		Agregación
UPZAMAYOR	1,3		Agregación
UVENECIA	2,1		Agregación
UINTERCOMU	0,7		Agregación
UCNTRMARIN	2,7	20,6	Concentración
UFERRYPLC	2		Agregación
UPASECOLON	2		Agregación
UCINCOJULI	1,4		Agregación
UCONTITUCI	1,1		Agregación
UPBLNUEVO	1,9		Agregación
UALTERNUNO	4,5		Agregación
UMONTONES	5,5	18,4	Concentración

Tabla 22. Distancias Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

V.2.3 Tramo Anaco – Maturín

En la tabla 23 se especifican los nodos que conforman el tramo Anaco – Maturín, se muestra la distancia entre los distintos enlaces y las distancias corregidas en donde se ubican los nodos de concentración de tráfico.

Puntos de Interés – Nodos	Distancia (Km)	Distancia Corregida (Km)	Tipo de Nodo
UANACOESTE	0	0	Concentración
UURICABB	67,9	67,9	Concentración
UTEJERO	34,8		Agregación
UPTAMATA	7,4		Agregación
UPTAMATCTR	3,1		Agregación
UFURRIAL	21,1	66,4	Concentración
UVIACOROZO	22,1		Agregación
UALTOGURI	6,2		Agregación
UZNAINDMAT			Agregación
UAVORINOCO			Agregación
UAVBICENTE	2,4		Agregación
UGUARAPICH	2,1		Agregación
UAEROMONAG	2,5		Agregación
UAVLIBERTA	2,5		Agregación
UPARAISO	2,2		Agregación
UAVORINOCO	2	42	Concentración

Tabla 23. Distancia Tramo Anaco - Maturín (Fuente propia)

V.2.4 Tramo Anaco – Puerto Ordaz

En la tabla 24 se especifican los nodos que conforman el tramo Anaco – Puerto Ordaz, se muestra la distancia entre los distintos enlaces y las distancias corregidas en donde se ubican los nodos de concentración de tráfico.

Puntos de Interés	Distancia (Km)	Distancia Corregida (Km)	Tipo de Nodo
UALGARROBO	0	0	Concentración
UCANTAURA	16,4		Agregación
BTS_Autopista HW Cantaura El Tigre	34,1		Agregación
UTIGREBB	17,3		Agregación
UTIGRECNTN	4,3	72,1	Concentración
UTGREINTER	2,4		Agregación
UEUROTIGRE	2,4		Agregación
BTS_FARALLONES	38,2		Agregación
BTS_Moron	36,2	79,2	Concentración
UPASEGASPR	51,8		Agregación
UANDBELLO	3,6		Agregación
UPASESIMON	3,3		Agregación
UMARHUANTA	3,4	62,1	Concentración

BTS_Las Palmas Oeste	34,6		Agregación
BTS_Las Palmas Este	25,2	59,8	Concentración
UCTRINDCAR	32,3		Agregación
UCARONIORT	2,1		Agregación
UORINOQUNO	6,2		Agregación
UALTAVISTA	2,1		Agregación
UCERROBERT	2,5		Agregación
UAEROGUAY	2,5		Agregación
UCECIAMB	1,5		Agregación
UCTRINDCAR	6	55,2	Concentración
UCERROQUEM			Agregación

Tabla 24 Distancia Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

A continuación se hace un recuento de los nodos de concentración de tráfico con las distancias entre ellos.

En la tabla 25 se presentan los enlaces ópticos con las distancias entre nodos de concentración de tráfico el tramo San Juan de los Morros – Anaco.

Nodos (A)	Nodos (Z)	Distancia Corregida (Km)
USANJUAN_B	UELSOMBRERO	81,7
UELSOMBRERO	BTS_Chaguaramas Guárico	81
BTS_Chaguaramas Guárico	UTUCUPIDO	78,1
UTUCUPIDO	UZARAZACENTRO	56
UZARAZACENTRO	UARAGUABNA	62,6
UARAGUABNA	UANACOESTE	60,6

Tabla 25. Nodos de concentración tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

En la tabla 26 se presentan los enlaces ópticos con las distancias entre nodos de concentración de tráfico del tramo Anaco – Puerto La Cruz.

Nodos (A)	Nodos (Z)	Distancia Corregida (Km)
UVIENTOFRE	UMATEO	35,2
UMATEO	UHWCCS	47,1
UHWCCS	UCNTRMARIN	20,6
UCNTRMARIN	UMONTONES	18,4

Tabla 26. Nodos de concentración tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

En la tabla 27 se presentan los enlaces ópticos con las distancias entre nodos de concentración de tráfico el tramo Anaco - Maturín.

Nodos (A)	Nodos (B)	Distancia Corregida (Km)
UANACOESTE	UURICABB	67,9
UURICABB	UFURRIAL	66,4
UFURRIAL	UAVORINOCO	42

Tabla 27. Nodos de concentración tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

En la tabla 28 se presentan los enlaces ópticos con las distancias entre nodos de concentración de tráfico el tramo Anaco – Puerto Ordaz.

Nodos (A)	Nodos (B)	Distancia Corregida (Km)
UALGARROBO	UTIGRECINTR	72,1
UTIGRECINTR	BTS_Moron	79,2
BTS_Moron	UMARHUANTA	62,1
UMARHUANTA	BTS_Las Palmas Este	59,8
BTS_Las Palmas Este	UCTRINDCAR	55,2

Tabla 28. Nodos de concentración tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

V.3 Análisis Cuantitativo de los enlaces ópticos

Analizada la información obtenida de parte de la operadora y los resultados de las distancias de cada uno de los enlaces entre los nodos de concentración de tráfico, mediante la herramienta *Google Earth*, se utiliza ahora el software 7196 OSP, propiedad del proveedor Tellabs, para generar los cálculos de los valores de potencia y las principales pérdidas y atenuaciones producidas por la fibra y la distancia de los enlaces.

A continuación se muestran los resultados producto de los cálculos realizados mediante la herramienta 7196 OSP, se pueden ver características

generales, mediciones de pérdidas, atenuaciones, dispersión de modo polarizado, dispersión cromática, parámetros de pendiente y pérdida de retorno óptico y la potencia requerida para los enlaces.

En la figura 30 se muestran los tramos del proyecto y las ciudades donde se encuentran los puntos de inicio y fin de cada uno de los tramos.



Figura 30. Tramos del proyecto (Fuente propia)

V.3.1 Características generales de los enlaces

En las tablas 29, 30, 31 y 32, se presenta la información correspondiente a las características generales de los enlaces por cada uno de los tramos. En todos los casos los valores de distancia provienen de la información previamente calculada. El parámetro CableID representa la etiqueta de los enlaces dentro del software. Y el número de canales DWDM son los ajustados según la herramienta.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Distancia (Km)	CableID	Número canales DWDM
San_Juan	El_Sombrero	81.8	Cable1	44
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	81	Cable2	44
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	78.1	Cable3	44
Tucupido	Zaraza_Centro	56	Cable4	44
Zaraza_Centro	Araguabna	62.6	Cable5	44
Araguabna	Anaco_Este	60.6	Cable16	44

Tabla 29. Características de los enlaces Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Distancia (Km)	Cable ID	Número Canales DWDM
Montones	CntrMarin	18.4	Cable6	44
CntrMarin	HWCCS	20.6	Cable7	44
HWCCS	Mateo	47.1	Cable8	44
Mateo	Vientofre	35.2	Cable15	44

Tabla 30. Características de los enlaces Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Distancia (Km)	Cable ID	Numero Canales DWDM
Avorinoco	Furrial	42	Cable13	44
Furrial	Urica_BB	66.4	Cable14	44
Urica_BB	Anaco_Este_2	67.9	Cable17	44

Tabla 31. Características de los enlaces Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Distancia (Km)	Cable ID	Número Canales DWDM
CtrIndCar	Las_Palmas_Este	55.2	Cable9	44
Las_Palmas_Este	Marhuanta	59.8	Cable10	44
Marhuanta	Moron	62.1	Cable11	44
Moron	TigreCntr	79.2	Cable12	44
TigreCntr	Algarrobo	72.1	Cable18	44

Tabla 32. Características de los enlaces Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

V.3.2 Atenuación por distancia

En las tablas 33, 34, 35 y 36, se presenta la información correspondiente a las pérdidas por distancia de los enlaces por cada uno de los tramos.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Distancia (Km)	Pérdidas AZ (dB)	Pérdidas ZA (dB)
San_Juan	El_Sombrero	81.8	20.45	20.45
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	81	20.25	20.25
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	78.1	19.52	19.52
Tucupido	Zaraza_Centro	56	14	14
Zaraza_Centro	Araguabna	62.6	15.65	15.65
Araguabna	Anaco_Este	60.6	15.15	15.15

Tabla 33. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Distancia (Km)	Pérdidas AZ (dB)	Pérdidas ZA (dB)
Montones	CntrMarin	18.4	4.6	4.6
CntrMarin	HWCCS	20.6	5.15	5.15
HWCCS	Mateo	47.1	11.78	11.78
Mateo	Vientofre	35.2	8.8	8.8

Tabla 34. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Pérdidas AZ (dB)	Pérdidas ZA (dB)
Avorinoco	Furrial	10.5	10.5
Furrial	Urica_BB	16.6	16.6
Urica_BB	Anaco_Este_2	16.98	16.98

Tabla 35. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Distancia (Km)	Pérdidas AZ (dB)	Pérdidas ZA (dB)
CtrIndCar	Las_Palmas_Este	55.2	13.8	13.8
Las_Palmas_Este	Marhuanta	59.8	14.95	14.95
Marhuanta	Moron	62.1	15.53	15.53
Moron	TigreCntr	79.2	19.8	19.8
TigreCntr	Algarrobo	72.1	18.02	18.02

Tabla 36. Pérdidas por distancia en los enlaces Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

En todos los casos los valores de atenuaciones por distancia reflejan valores apropiados y adaptados al tipo de fibra utilizada que es la monomodo

SMF, en la cual se presentan atenuaciones entre 0,2 y 0,3db/km según la recomendación G.652 de la ITU-T.

V.3.3 Dispersión por Polarización de Modo (PMD)

En las tablas 37, 38, 39 y 40, se presenta la información correspondiente a los valores de Dispersión por Polarización de Modo de los enlaces por cada uno de los tramos.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	PMD (AZ)	PMD (ZA)
San_Juan	El_Sombrero	0.362	0.362
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	0.36	0.36
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	0.354	0.354
Tucupido	Zaraza_Centro	0.299	0.299
Zaraza_Centro	Araguabna	0.317	0.317
Araguabna	Anaco_Este	0.311	0.311

Tabla 37. Pérdidas por PMD Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	PMD (AZ)	PMD (ZA)
Montones	CntrMarin	0.1716	0.1716
CntrMarin	HWCCS	0.1815	0.1815
HWCCS	Mateo	0.2745	0.2745
Mateo	Vientofre	0.2373	0.2373

Tabla 38. Pérdidas por PMD Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	PMD (AZ)	PMD (ZA)
Avorinoco	Furrial	0.2592	0.2592
Furrial	Urica_BB	0.3259	0.3259
Urica_BB	Anaco_Este_2	0.3296	0.3296

Tabla 39. Pérdidas por PMD Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	PMD (AZ)	PMD (ZA)
CtrIndCar	Las_Palmas_Este	0.297	0.297
Las_Palmas_Este	Marhuanta	0.309	0.309
Marhuanta	Moron	0.315	0.315
Moron	TigreCntr	0.356	0.356
TigreCntr	Algarrobo	0.34	0.34

Tabla 40. Pérdidas por PMD Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

Con la herramienta 7196 OSP se comprueba que, de acuerdo a las especificaciones de la fibra monomodo de acuerdo a la recomendación G.652, se cumple con los criterios de la dispersión por Polarización de Modo.

V.3.4 Dispersión Cromática (CD)

En las tablas 41, 42, 43 y 44, se presenta la información correspondiente a los valores de dispersión cromática de los enlaces por cada uno de los tramos.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	CD (AZ) (dB)	CD (ZA) (dB)
San_Juan	El_Sombrero	330.5	330.5
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	327.2	327.2
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	315.5	315.5
Tucupido	Zaraza_Centro	226.2	226.2
Zaraza_Centro	Araguabna	252.9	252.9
Araguabna	Anaco_Este	244.8	244.8

Tabla 41. Pérdidas por CD Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	CD (AZ) (dB)	CD (ZA) (dB)
Montones	CntrMarin	74.34	74.34
CntrMarin	HWCCS	83.22	83.22
HWCCS	Mateo	190.28	190.28
Mateo	Vientofre	142.21	142.21

Tabla 42. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	CD (AZ) (dB)	CD (ZA) (dB)
Avorinoco	Furrial	169.68	169.68
Furrial	Urica_BB	268.26	268.26
Urica_BB	Anaco_Este_2	274.32	274.32

Tabla 43. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	CD (AZ) (dB)	CD (ZA) (dB)
CtrlIndCar	Las_Palmas_Este	223	223
Las_Palmas_Este	Marhuanta	241.6	241.6
Marhuanta	Moron	250.9	250.9
Moron	TigreCntr	320	320
TigreCntr	Algarrobo	291.3	291.3

Tabla 44. Pérdidas por CD Tramo Anaco – Puerto Ordaz

Nuevamente la medición de un parámetro como la dispersión cromática arroja valores que están dentro del estándar de la fibra óptica SMF utilizada y los valores de distancia de los enlaces. Cumple con los valores establecidos según la recomendación G.652, en la cual se destaca que la dispersión cromática para la ventana de 1550nm es de aproximadamente 20 ps/nm-km.

V.3.5 Pendiente y Pérdida de retorno óptica (ORL)

En las tablas 45, 46, 47 y 48, se presenta la información correspondiente a los valores de Pendiente y Pérdida de retorno óptica de los enlaces por cada uno de los tramos.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Pendiente (AZ) (ps/nm-km)	Pendiente (ZA) (ps/nm-km)	ORL (dB)
San_Juan	El_Sombrero	0.0472	0.0472	-60
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	0.0472	0.0472	-60
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	0.0472	0.0472	-60
Tucupido	Zaraza_Centro	0.0472	0.0472	-60
Zaraza_Centro	Araguabna	0.0472	0.0472	-60
Araguabna	Anaco_Este	0.0472	0.0472	-60

*Tabla 45. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo San Juan de los Morros – Anaco
(Fuente propia)*

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Pendiente (AZ) (ps/nm-km)	Pendiente (ZA) (ps/nm-km)	ORL (dB)
Montones	CntrMarin	0.0472	0.0472	-60
CntrMarin	HWCCS	0.0472	0.0472	-60
HWCCS	Mateo	0.0472	0.0472	-60
Mateo	Vientofre	0.0472	0.0472	-60

Tabla 46. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Pendiente (AZ) (ps/nm-km)	Pendiente (ZA) (ps/nm-km)	ORL (dB)
Avorinoco	Furrial	0.0472	0.0472	-60
Furrial	Urica_BB	0.0472	0.0472	-60
Urica_BB	Anaco_Este_2	0.0472	0.0472	-60

Tabla 47. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio B	Pendiente (AZ) (ps/nm-km)	Pendiente (ZA) (ps/nm-km)	ORL (dB)
CtrIndCar	Las_Palmas_Este	0.0472	0.0472	-60
Las_Palmas_Este	Marhuanta	0.0472	0.0472	-60
Marhuanta	Moron	0.0472	0.0472	-60
Moron	TigreCntr	0.0472	0.0472	-60
TigreCntr	Algarrobo	0.0472	0.0472	-60

Tabla 48. Pendiente y Pérdidas por Retorno óptico Tramo Anaco - Puerto Ordaz (Fuente propia)

V.3.6 Potencia

En las tablas 49, 50, 51 y 52, se presenta la información correspondiente a los valores de potencia de los enlaces por cada uno de los tramos.

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Potencia (Watts)	Potencia (dBm)	Potencia Max (Watts)	Potencia Max (dBm)
San_Juan	El_Sombrero	32	45.05	40	46.02
El_Sombrero	Chaguaramas_Guarico	32	45.05	40	46.02
Chaguaramas_Guarico	Tucupido	32	45.05	40	46.02
Tucupido	Zaraza_Centro	27	44.32	33	45.19
Zaraza_Centro	Araguabna	27	44.32	33	45.19
Araguabna	Anaco_Este	27	44.32	33	45.19

Tabla 49. Valores de Potencia Tramo San Juan de los Morros - Anaco (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Potencia (Watts)	Potencia (dBm)	Potencia Max (Watts)	Potencia Max (dBm)
Montones	CntrMarin	24	43.80	28	44.47
CntrMarin	HWCCS	24	43.80	28	44.47
HWCCS	Mateo	27	44.31	33	45.18
Mateo	VientoFRE	24	43.80	28	44.47

Tabla 50. Valores de Potencia Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Potencia (Watts)	Potencia (dBm)	Potencia Max (Watts)	Potencia Max (dBm)
Avorinoco	Furrial	27	44.31	33	45.18
Furrial	Urica_BB	27	44.31	33	45.18
Urica_BB	Anaco_Este_2	27	44.31	33	45.18

Tabla 51. Valores de Potencia Tramo Anaco – Maturín (Fuente propia)

Nombre Sitio A	Nombre Sitio Z	Potencia (Watts)	Potencia (dBm)	Potencia Max (Watts)	Potencia Max (dBm)
CtrIndCar	Las_Palmas_Este	13.8	13.8	0.297	0.297
Las_Palmas_Este	Marhuanta	14.95	14.95	0.309	0.309
Marhuanta	Moron	15.53	15.53	0.315	0.315
Moron	TigreCntr	19.8	19.8	0.356	0.356
TigreCntr	Algarrobo	18.02	18.02	0.34	0.34

Tabla 52. Valores de Potencia Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente propia)

Todos estos valores obtenidos, mediante la herramienta de Tellabs, dan una visión muy aproximada a lo que seria a futuro una implementación del diseño que se plantea.

V.4 Diseño de la red de transporte

Para presentar el diseño de la red de transporte, se incluye la capa óptica y la capa de servicios. En la capa óptica, se interconectan los nodos hasta la red DWDM usando el nodo señalado por la operadora como nodo central, ubicados en las principales ciudades donde se realiza el diseño (Puerto La Cruz, Maturín, Puerto Ordaz), donde se concentra todo el tráfico proveniente de las redes celulares de 2da y 3ra generación.

En la tabla 57 se presentan los nodos centrales, de acuerdo a los datos suministrados por la operadora, a donde llega todo el tráfico que será enviado mediante la red DWDM ya existente.

Ciudad	Nombre del Nodo
Puerto La Cruz	UMONTONES
Maturín	UAVORINOCO
Puerto Ordaz	UCTRINDCAR

Tabla 53. Ubicación de los Nodos centrales (Fuente la operadora)

Los equipos que se requiere instalar concentran todo el tráfico en estos puntos para luego transportarlo mediante fibra. De acuerdo a los datos de la operadora en cada uno de estos nodos deben conectarse el tráfico de servicios como SDH e IP, por esta razón, se necesitan equipos adicionales SDH que recogen el tráfico de la red GSM y equipos IP Backhaul que recogen tráfico de la red UMTS.

En la figura 31 se presenta el esquema de interconexión de un nodo de concentración de tráfico con equipos SDH e IP Backhaul.

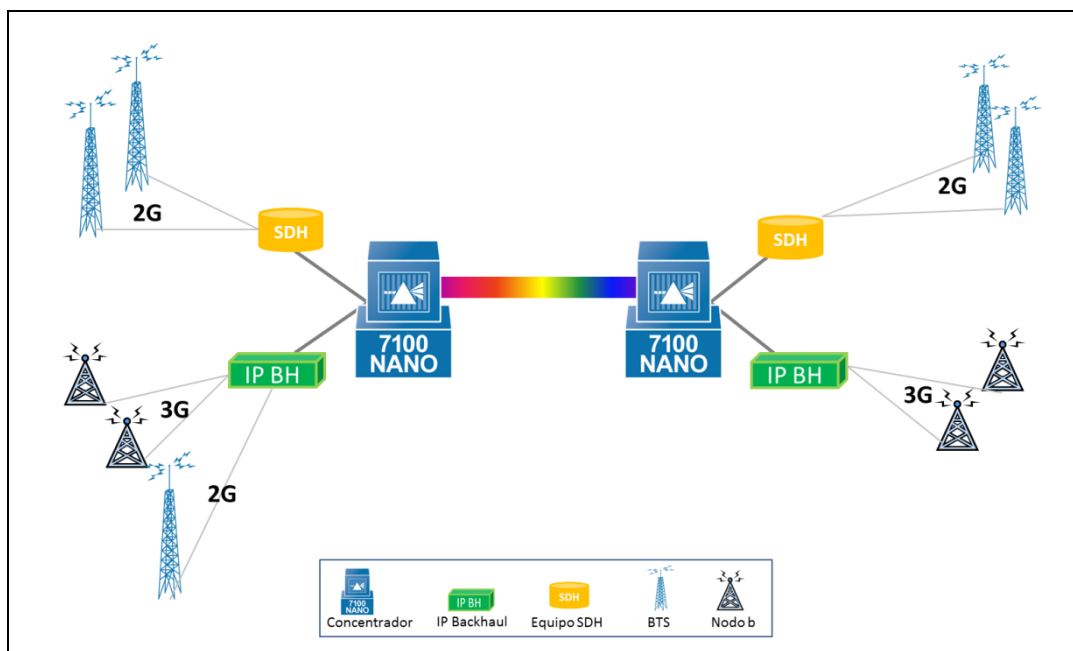


Figura 31. Esquema de interconexión de un nodo de concentración. (Fuente Propia)

Adicionalmente estos equipos están conectados a los sistemas BTS o radio bases que recogen los datos vía microondas, aunque este no es un alcance del proyecto, es mencionado porque gracias a la concentración en un nodo óptico se recoge el tráfico de la red celular existente alrededor de este.

El incremento de la capacidad de tráfico se obtiene debido a que se conectan equipos SDH e IP Backhaul a un mismo nodo de concentración y por dos pares de hilos de fibra se envía tráfico recogido a distintas velocidades, en caso de SDH STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 y para IP Backhaul. Ethernet, Giga Ethernet, y 10G.

Existen también dentro del diseño nodos de agregación, estos se unen a los nodos de concentración a través de un enlace dedicado de 10G. Estos nodos son capaces de agregar tráfico proveniente de la red *Backhaul*, de servicios de datos GPRS – EDGE y UMTS. Los nodos de agregación a través del enlace dedicado con el nodo de concentración mas cercano, incluyen dentro de la red de transporte DWDM, el tráfico para ser trasladado hasta el nodo central y de ahí al *Core* de la red.

En la figura 32 se muestra la interconexión de un nodo de concentración con un nodo de agregación mediante el enlace dedicado. También se puede observar la conexión de los servicios IP hacia al nodo de agregación.

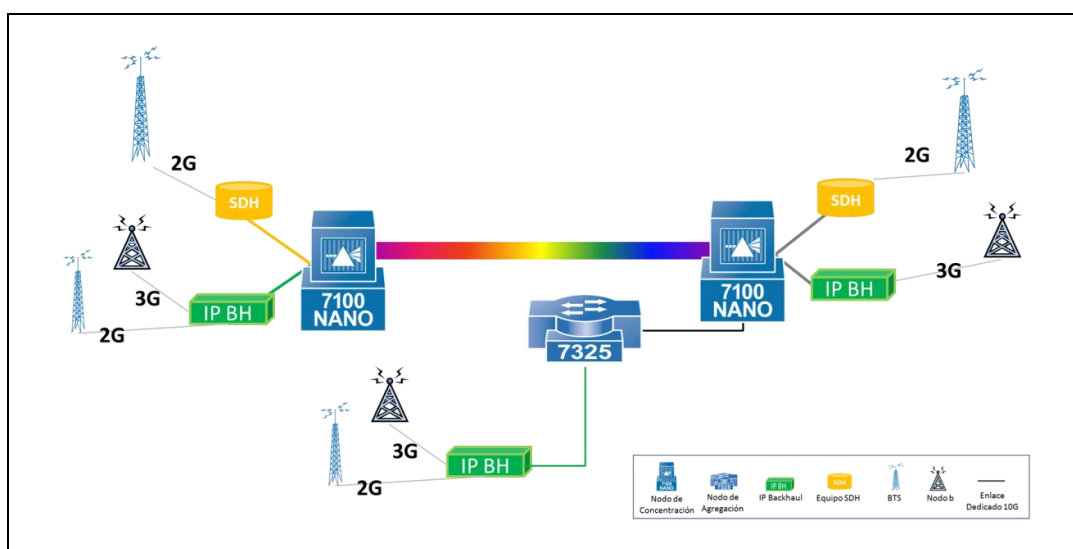


Figura 32. Conexión entre un nodo de agregación y un nodo de concentración. (Fuente Propia)

Los nodos centrales definidos anteriormente, ubicados en las principales ciudades de los tramos del proyecto, reúnen todo el tráfico de la red para transportarlo al núcleo, mediante la red DWDM. En la figura 33 se muestra la estructura de estos nodos, la cual comienza en el nodo de concentración que traslada todos los servicios que presta la operadora, cada servicio es transportado a estos nodos mediante una longitud de onda.

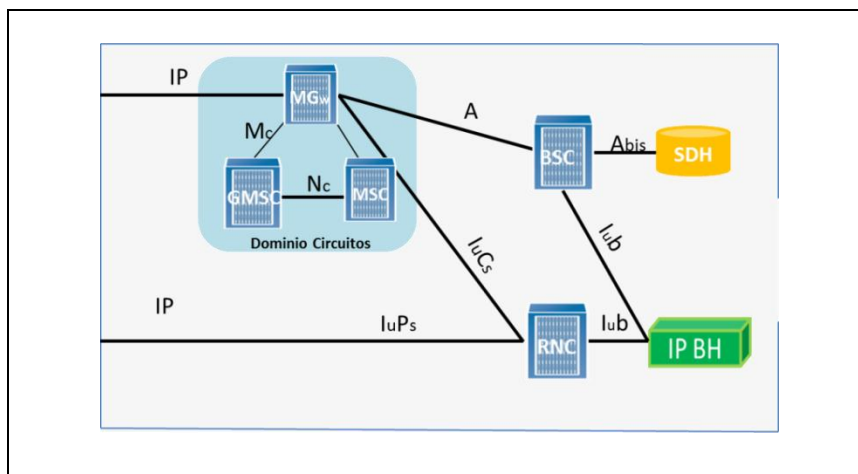


Figura 33. Estructura de los nodos Centrales. (Fuente Propia)

Al ser recibido en el nodo central se encuentran los equipos SDH e IP, que recogen del nodo de concentración el tráfico que les corresponde. Una vez dividido, el tráfico SDH se lleva a la BSC (Estación Base de Control) de la red mediante una interfaz denominada Abis, en este punto la BSC actúa como medio de registro y comunicación de la información hacia el corazón de la red, también maneja y regula los niveles de potencia. De allí pasa al MGW (*Media Gateway*) que traduce la señalización de las distintas tecnologías para establecer la comunicación, finalmente se encarga de entregar esta información al núcleo mediante la red DWDM. Puede ocurrir que el servicio de voz provenga de un equipo IP *backhaul*, en ese caso es trasladado directamente a la BSC mediante la interfaz IuBs.

El nodo de concentración puede detectar también tráfico de datos que será procesado a través del equipo IP, y de allí pasar directamente a la RNC, que cumple funciones similares a la BSC. Puede ocurrir que el tráfico sea de voz en cuyo caso mediante la interfaz IuCs pasa al MGW. El tráfico de datos procesado por la RNC pasa directamente al núcleo de la red en forma de paquetes a través de la red DWDM.

A continuación se presenta el diseño final por tramos del proyecto. Para cada tramo se presentan dos diagramas el primero hace referencia a la capa óptica, la red DWDM y como se conectan los nodos de concentración y de agregación. El segundo diagrama muestra como se conectan los servicios SDH e IP en los

nodos de concentración y en los nodos de agregación, también como el tráfico generado por estos servicios se transporta en la red hasta los nodos centrales.

En las figuras 34, 35, 36 y 37 se presentan los diagramas correspondientes a cada uno de los tramos vistos desde la capa óptica. En las figuras 38, 39, 40 y 41 se muestran los diagramas correspondientes a cada uno de los tramos vistos desde la capa de servicios.

Para el tramo San Juan de Los Morros – Anaco, la interconexión de los nodos de concentración es realizada en cadena. Para llevar el tráfico correspondiente a este tramo para el núcleo de la red se hace a través del nodo “San Juan” hacia la red DWDM.

En el tramo Anaco – Puerto La Cruz, la interconexión de los nodos hasta el nodo de concentración “Montones” se hace en cadena para luego construir un anillo metropolitano que cierra en este mismo nodo. A nivel de servicios se observan las conexiones que pueden tener los nodos de concentración y agregación. Para trasladar el tráfico al núcleo se hace a través del nodo central hacia la red DWDM.

En el tramo Anaco – Maturín y Anaco – Puerto Ordaz a nivel de servicio ocurre que los nodos centrales de cada uno de estos tramos no tienen salida a la red DWDM, por esto después de procesar la información regresa a la red con otras longitudes de onda con la finalidad de ser trasladadas a las salidas posibles, ubicadas en el no central de Puerto La Cruz o en el nodo de “San Juan” para ir al núcleo de la red.

Con estos diagramas, se integra toda la información generada en los resultados de este proyecto. El diseño de la red involucra, los equipos a utilizar, los datos aportados por la operadora y los parámetros que afectan los enlaces de fibra.

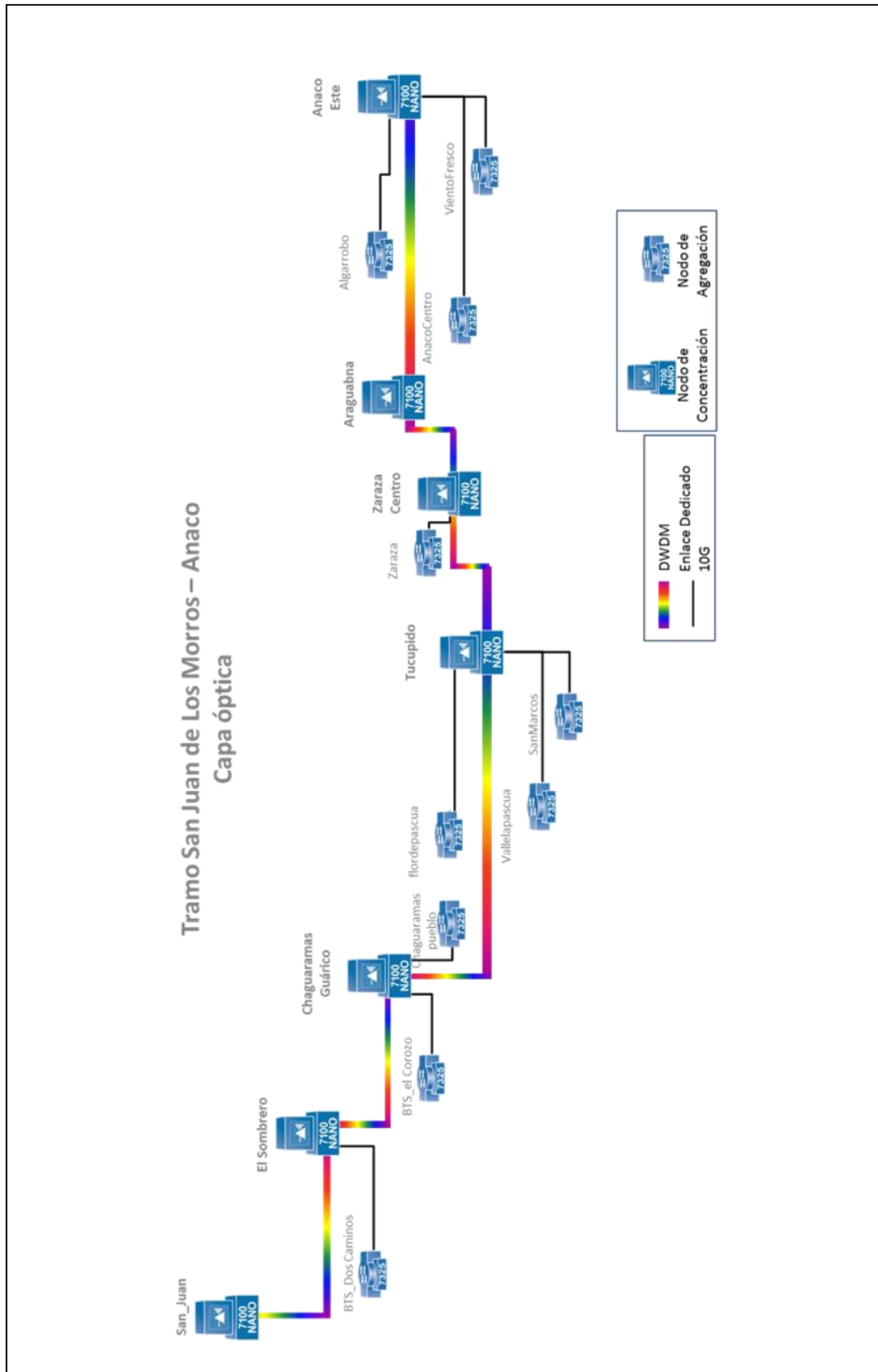


Figura 34. Diseño Capa óptica Tramo San Juan de Los Morros – Anaco (Fuente Propia)

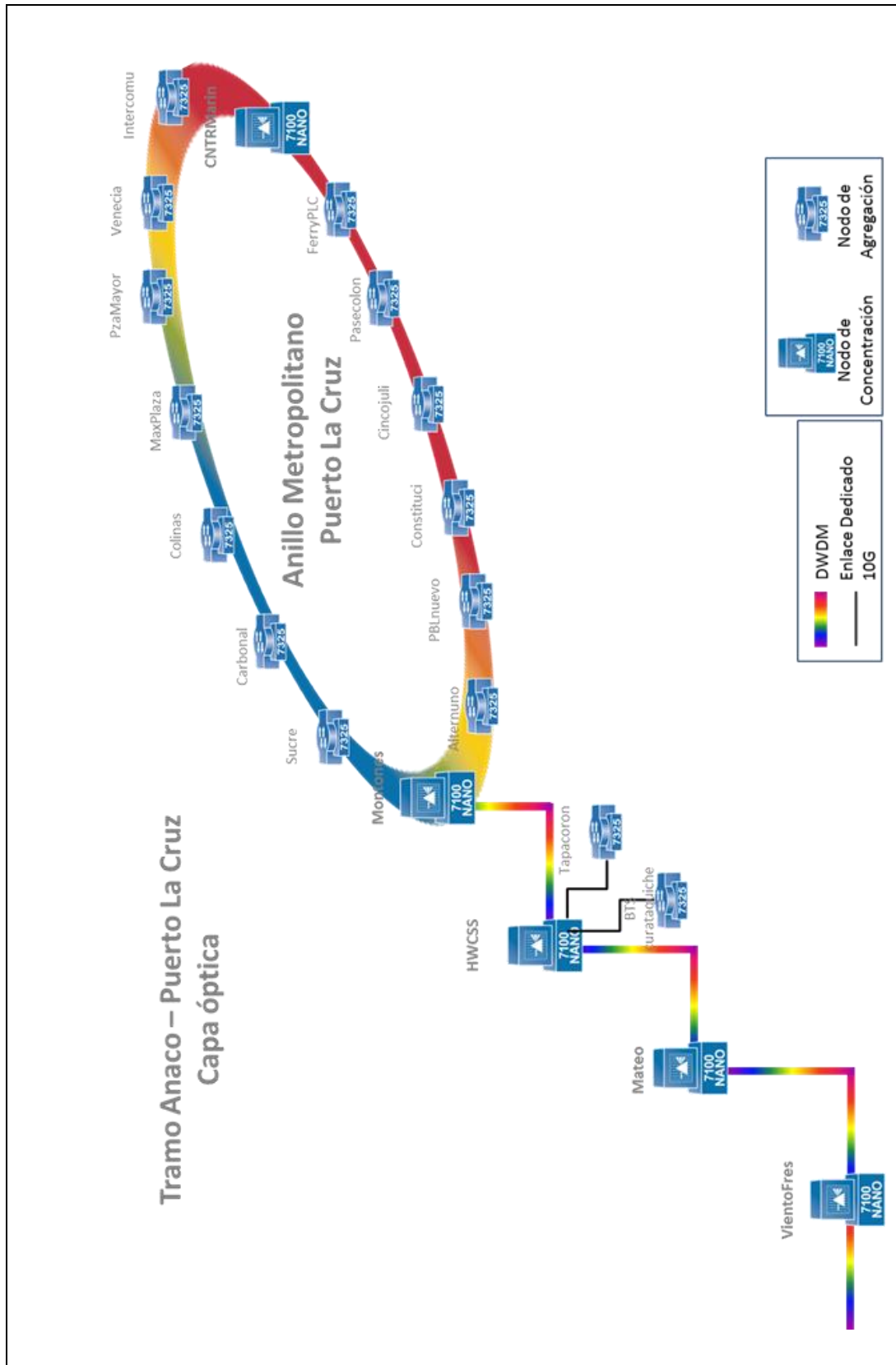


Figura 35. Diseño Capa óptica Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente Propia)

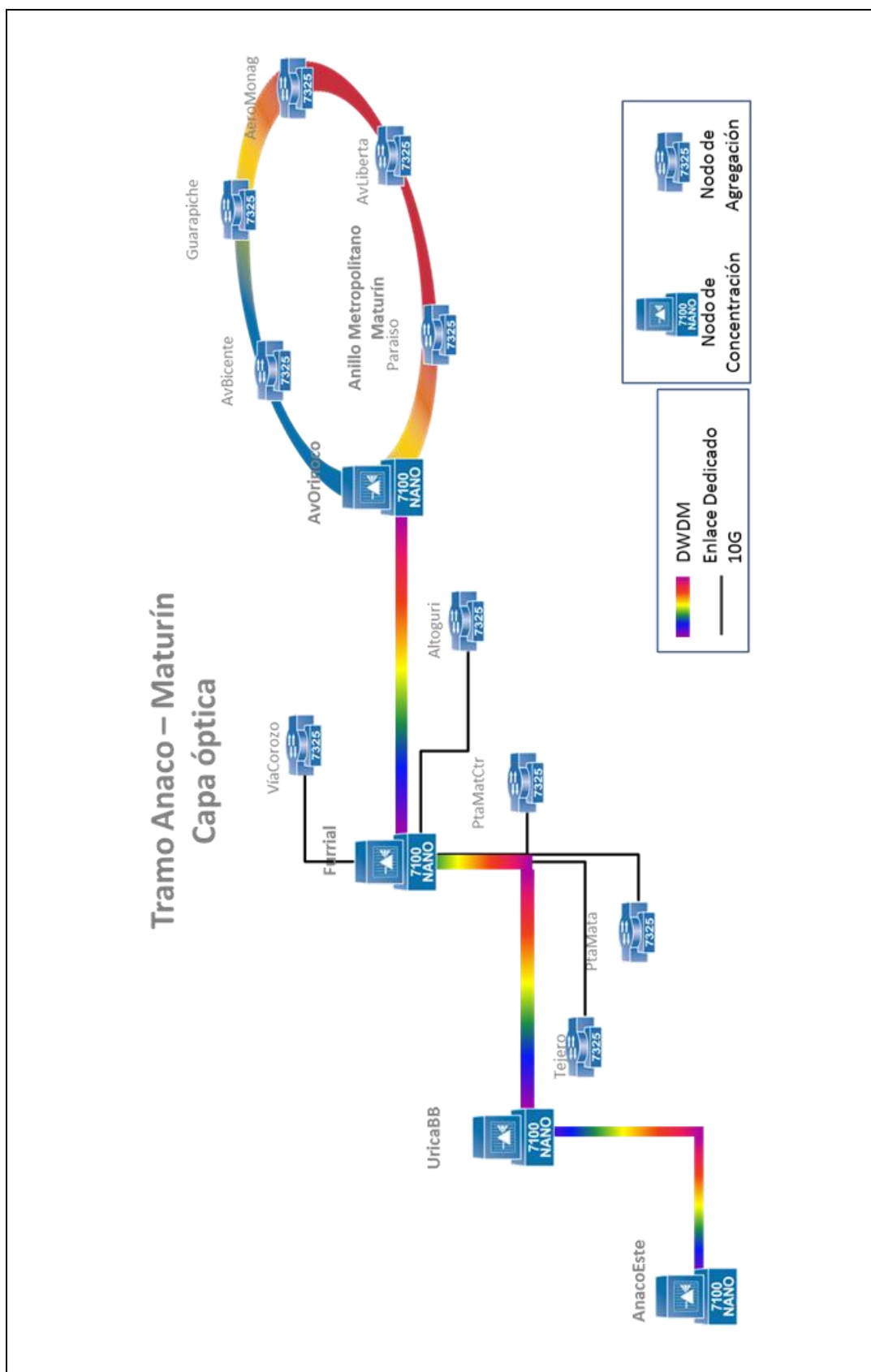


Figura 36. Diseño Capa óptica Tramo Anaco - Maturín (Fuente Propia)

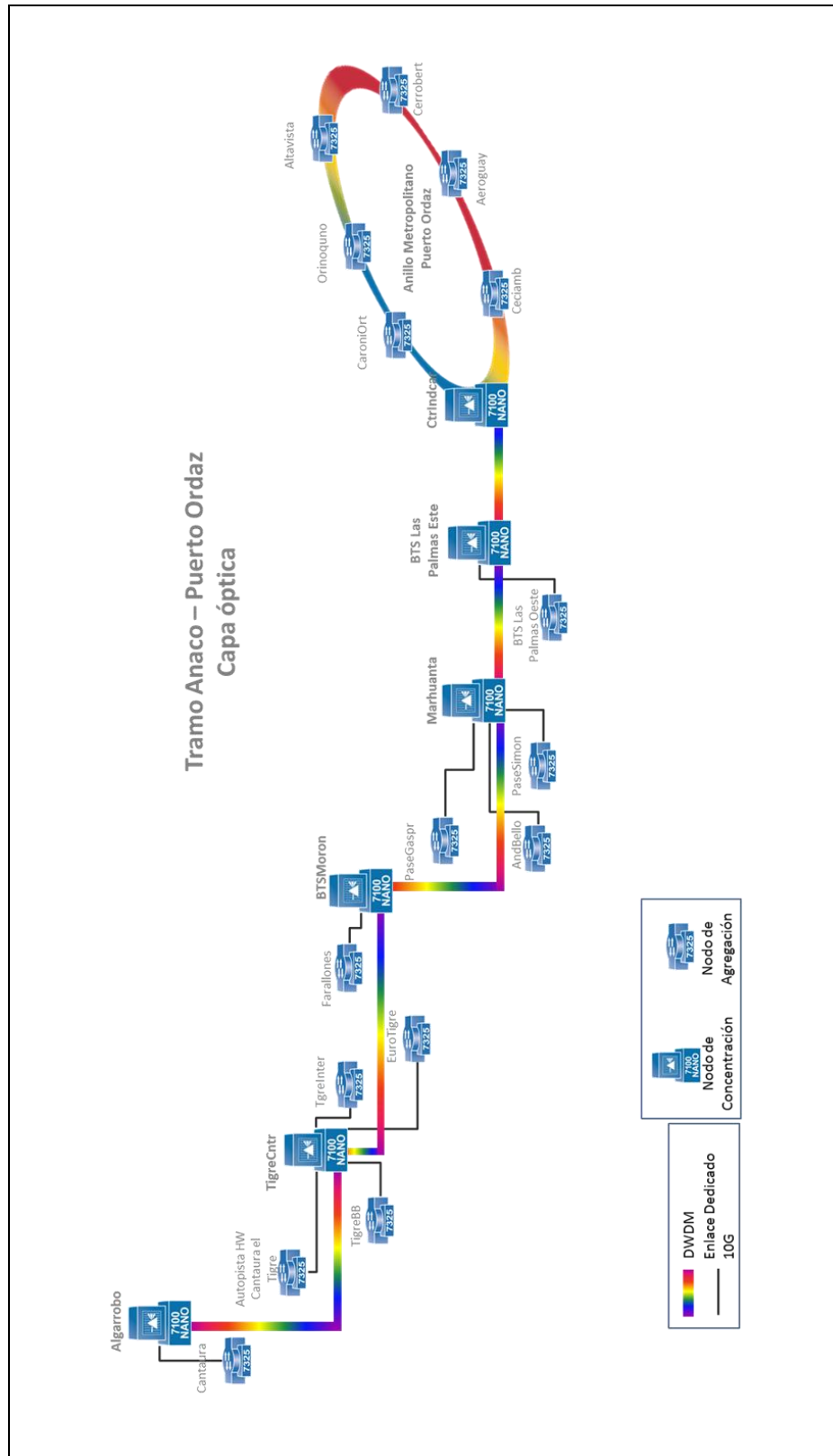


Figura 37. Diseño Capa óptica Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente Propia)

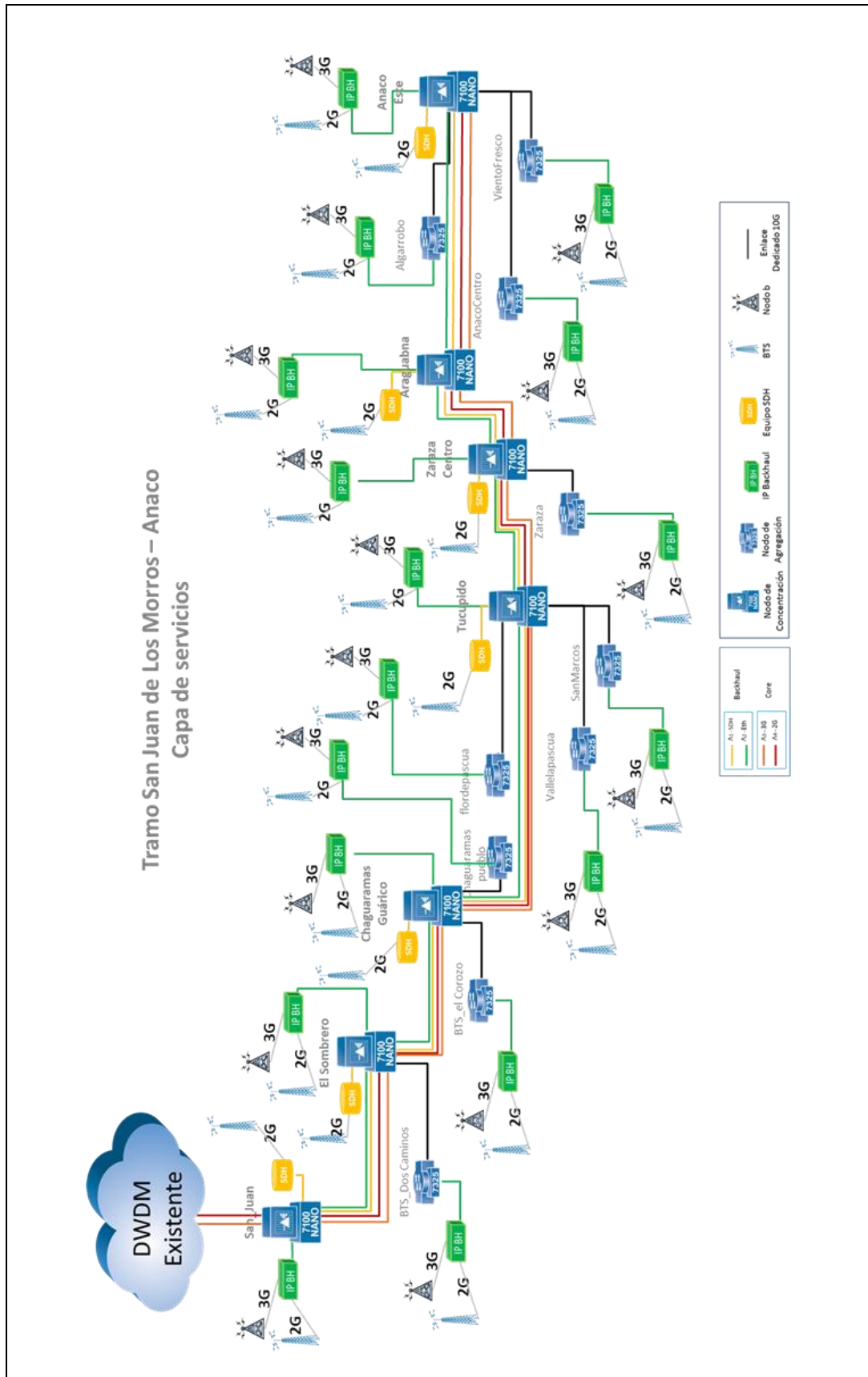


Figura 38. Diseño Capa de servicios Tramo San Juan de Los Morros – Anaco (Fuente Propia)

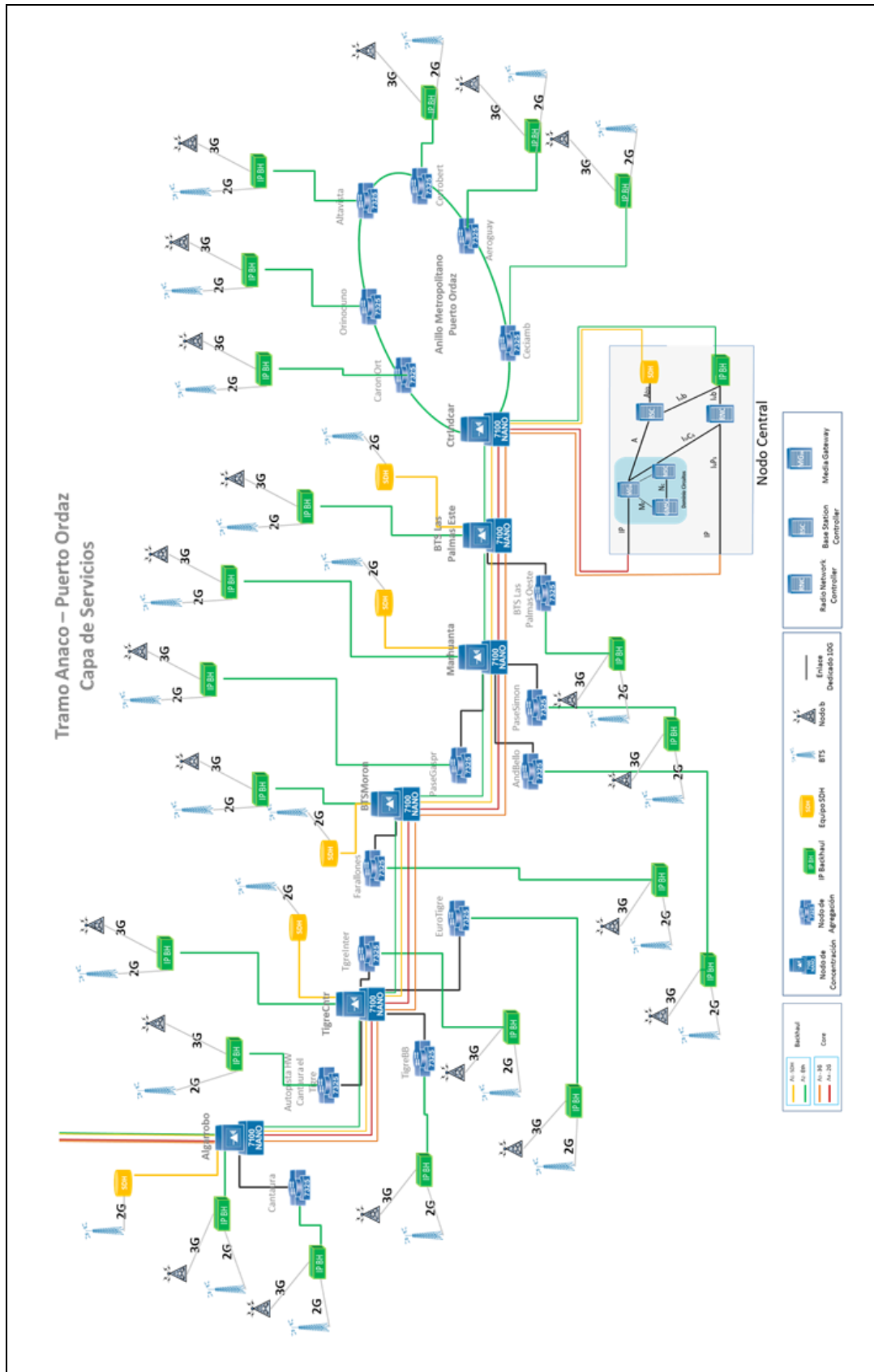


Figura 41. Diseño Capa de servicios Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente Propia)

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se presenta los comentarios finales referentes a los resultados obtenidos en la elaboración del diseño y como este Trabajo Especial de Grado contribuye al desarrollo de las telecomunicaciones. También se muestran recomendaciones que se generan a partir del proyecto.

VI.1 Conclusiones

El diseño de la red de transporte está basado en los requerimientos y necesidades de la operadora por lo que hay que integrar las tecnologías existentes. La principal funcionalidad del diseño consiste en lograr interconectar todos los servicios y transportar los datos mediante a capa óptica.

Esta capa integra principalmente los servicios de voz y datos, para realizar el transporte hacia los nodos centrales donde se realiza el proceso de registro y transporte de la información al núcleo mediante la red DWDM.

El análisis de los equipos a utilizar, los datos aportados por la operadora, los parámetros que afectan la fibra calculados con la herramienta de planificación 7196 OSP, y los diagramas de la red de transporte visto desde la capa óptica y la capa de servicios, engloban el diseño presentado en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

El uso de la tecnología DWDM abre un abanico de beneficios al diseño de la red, debido su característica de ser escalable y flexible. El crecimiento de la red ahora es más amplio y soporta nuevos servicios de voz y datos. También el incremento de la capacidad de tráfico se logra al incluir dentro de una misma longitud de onda servicios que se recogen desde distintos nodos a distintas velocidades. Si es el caso de SDH por una misma longitud de onda se transportan servicios STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64 por otra parte en una misma

longitud de onda se transportan servicios IP Backhaul con velocidades Ethernet, GE, 10 G y 40G.

De esta forma DWDM beneficia de manera permanente una rápida transferencia de datos. También la disponibilidad de muchos canales de transmisión genera también incremento de la capacidad de la red ofreciendo robustez y seguridad.

El diseño de la red está planificado para interactuar con las necesidades actuales y las necesidades futuras, esto proyecta la instalación de tecnologías emergentes que será compatibles con DWDM por lo que este diseño es una solución a largo plazo. Cada nuevo servicio instalado generara en el nodo de concentración una nueva longitud de onda con lo que se evidencia la evolución de la capa óptica sobre la capa de servicios.

El análisis de las características y especificaciones de los equipos empleados en el diseño permite aprovechar al máximo los beneficios que estos generan a la red. Compararlos con otros desarrollos similares en el ámbito óptico permite aportar mayor confianza a la operadora. Conocer la competencia ayuda al momento de cumplir con el requerimiento de interconexión con otras redes existentes cuyos proveedores probablemente no sean los mismos.

De la información presentada por la operadora surge un profundo análisis que ayuda a definir los requerimientos de diseño. Evaluar la información sobre los nodos a instalar y su localización geográfica permite comparar con las capacidades y características de los equipos. Así se logra un diseño costo-efectivo que no solo cumpla con los requerimientos sino que aproveche al máximo los beneficios del equipo.

El proveedor y los equipos utilizados ofrecen beneficios adicionales ya que cuentan con un software especializado de planificación de redes ópticas, mediante este, se obtienen los parámetros que afectan los enlaces de fibra óptica. Estos parámetros se calculan en función de la distancia y el tipo de fibra, además ofrece una planificación que complementa el desarrollo del proyecto.

Para lograr un diseño costo-efectivo y dada la cercanía de algunos nodos, en consecuencia se agruparon algunos sitios que agregan tráfico a los nodos de concentración. Se establece entonces un enlace dedicado entre los nodos de agregación y los de concentración.

Las principales ciudades beneficiadas con el proyecto son Puerto La Cruz, Maturín y Puerto Ordaz, en estas el diseño involucra un anillo metropolitano DWDM. También se pequeños poblados cercanos se ven beneficiados mediante los nodos de agregación interconectados a la capa óptica.

En estas ciudades hay un nodo de concentración en el cual se procesa el tráfico de los servicios ofrecidos por la operadora en esos casos se identifica al nodo de concentración como nodo central, en estos se analiza el tráfico y se transporta al núcleo a partir de la red DWDM existente.

Este diseño aporta gran eficiencia a la red existente debido a que sigue la tendencia de evolución de la capa óptica como soporte de todos los servicios, lo que permite el incremento de la capacidad de tráfico y la oportunidad de crecer al ritmo acelerado de la tecnología celular. Esto representa un gran avance en el desarrollo de servicios de telecomunicaciones y genera una mayor eficiencia y simplicidad.

VI.2 Recomendaciones

Se propone realizar la implementación del diseño planteado con los equipos señalados como nodo de concentración y agregación. Los equipos Tellabs 7100 Nano que poseen una gran capacidad permitiendo establecer hasta 88 canales. Los equipos Tellabs 7325 tienen gran capacidad para captar altos niveles de tráfico.

Al utilizar el software de planificación OSP es necesario conocer inicialmente su funcionamiento a través de la guía de usuario, de esta manera se puede aprovechar la máximo sus características.

Es necesario capacitar a los empelados que participen en la implementación del proyecto, para lograr un conocimiento del funcionamiento y características de los equipos.

Finalmente se recomienda implementar el proyecto por fases, establecer primero los nodos de concentración por cada uno de los tramos del proyecto y luego instalar los nodos de agregación. Es importante destacar que para la implementación se debe seguir una metodología precisa que involucre:

- 1) Inspección de los sitios asignados por la operadora para verificar que se cumplen con las condiciones de seguridad, espacio para la instalación, y condiciones climáticas. Esto se conoce, en proyectos de ingeniería, como *Site Survey*. Este informe preliminar deja constancia de que el sitio está preparado para cumplir con una posterior instalación.
- 2) Realizar informe de ingeniería de detalle que contiene las especificaciones más importantes reflejadas en el *Site Survey*, así como características de los equipos a instalar por cada nodo, detalles eléctricos, cableado, detalle de interfaces y tarjetas a utilizar.
- 3) Proceso de instalación del nodo siguiendo el Informe de Ingeniería de detalle.
- 4) Revisar junto a la operadora el funcionamiento del nodo, y del sistema de gestión que permitirá controlarlo a distancia.

Bibliografía

- Abellan, D. (2007). *Sistemas de Comunicaciones Ópticas*. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia.
- Abendallan, D. (2004). *Comunicaciones Móviles*. Madrid: UPC.
- Adolph, S. (2006). Storage over Sonet optimized DWDM. 20.
- Agusti, R. B. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Barcelona: Fundación Vodafone España.
- Alcatel-Lucent. (20 de junio de 2012). *www.alcatel-lucent.com*. Obtenido de [www.alcatel-lucent.com](http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd4w3cjUDSUGYpvqRKGIG8Y4IkSB9b31fj_zcVP0A_YLc0IhyR0dFAJgg_-M!/delta/base64xml/L0lKWWttUSEhL3dITUFDc0FJVUF0by80SUVhREFBIS9lbG!!?COOKIE_SET=false&COUNTRY_CODE=US&lu_lang_cod):
http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd4w3cjUDSUGYpvqRKGIG8Y4IkSB9b31fj_zcVP0A_YLc0IhyR0dFAJgg_-M!/delta/base64xml/L0lKWWttUSEhL3dITUFDc0FJVUF0by80SUVhREFBIS9lbG!!?COOKIE_SET=false&COUNTRY_CODE=US&lu_lang_cod
- Alcatel-Lucent. (22 de Junio de 2012). *www.alcatel-lucent.com*. Obtenido de [www.alcatel-lucent.com](http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd4w3dnTRL8h2VAQADYR9IA!!?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000075.xml&LMSG_PARENT=null):
http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd4w3dnTRL8h2VAQADYR9IA!!?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000075.xml&LMSG_PARENT=null
- Alcatel-Lucent. (25 de junio de 2012). *www.alcatel-lucent.com*. Obtenido de [www.alcatel-lucent.com](http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/Products/productsaz#tabAnchor2):
<http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/Products/productsaz#tabAnchor2>
- B&C Consulting . (2008). *ROADM Components*. Washington: IGI Consulting INC.

- Blake, R. (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. Mexico DF: Thomson.
- Capmany Francoy J., O. T. (2006). *Redes Ópticas*. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia.
- Cisco System. (1 de julio de 2012). *www.cisco.com*. Obtenido de *www.cisco.com*:
<http://www.cisco.com/en/US/products/index.html>
- Clesca, B. (2008). Evoluciones de la capa óptica. (13).
- David, F. R. (2003). *Conceptos de Administración Estratégica*. Mexico DF: Pearson Prentice Hall.
- Ferrer Marti, J. (2009). *Simulador para redes ópticas semitransparentes*. Madrid: UPC.
- Figueira Vidal, A. A. (2005). *Una Panorámica de las Telecomunicaciones*. Madrid: Prentice Hall.
- Fujitsu. (2002). *Tutorial DWDM* . Madrid.
- Gandluru, M. (2008). Paper Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Recuperado el 12 de 03 de 2006, de CIS:
http://www.cis.ohio-state.edu/jain/cis788-99/op_dwdm/index.html
- Gendron, R., & Gidaro, A. (22 de julio de 2012). *www.exfo.com*. Obtenido de EXFO: documents.exfo.com/appnotes/anote153-ang.pdf
- Gokhale, A. A. (2004). *Introduction to Telecommunications*. New York: Thomson Delmar Learning.
- Greene, T. (2005). DWDM not just for carriers anymore. 17(pp 36).
- Gumaste Ashwin, A. T. (2005). *DWDM Network Desings and Engineering Solutions*. San Francisco: Cisco Press.

- Hernandez, A. ((2005)). Redes Móviles de Tercera Generación. En A. Hernandez Gomes, *Redes Móviles de Tercera Generación*. Madrid: Ediciones UPC.
- Hernandez, A. (2000). Redes móviles de 2da Generación. En A. Hernandez, *Redes Móviles de 2da Generación*. Madrid: Ediciones UPC.
- Herrera, A. (10 de abril de 2012). *IDC USB*. Obtenido de IDC USB:
<http://www ldc.usb.ve/figueira/redes2/EXPOSICIONES/DWDM/material/dwdm8.htm>
- Hidalgo, P. (2007). Sistemas DWDM. En P. Hidalgo, *Comunicación Digital*. Barcelona: EPN.
- Holliday, C. (2009). Metro DWDM: More than just bandwidth - The potencial for revolutionary new architectures. *vol 1*(32).
- Holma, H., & A., T. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: high speed radio access for mobile communications*. Berlin: John Wiley.
- Huawei. (29 de junio de 2012). *www.huawei.com*. Obtenido de *www.huawei.com*:
<http://www.huawei.com/en/products/transport-network/wdm-otn/index.htm>
- ITU-T. (1997). *Recomendación G652. Fibra Monomodo convencional*. ITU-T.
- Kartalopoulos, S. V. (2008). *DWDM: networks, devices and technology*. San Francisco: IEEE Press.
- Kazi, K. (2006). *Optical Networking Standars. A comprehensive guide for professional*. New York: Springer.
- Krauss, O. (2010). *DWDM and Optical Networks: an introduction in Terabit Technology*. New York: Siemens.
- Laude, J.-P. (2007). *DWDM fundamentals, comp0onents and applications* . Paris: Jean-Pierre Laude.

- Lingyang, S., & Jia, S. (2011). *Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE*. Boca Ratón: CRC Press.
- Maneiro, A. (16 de mayo de 2012). *Ntt Electronics*. Obtenido de Ntt Electronics:
http://www.ntt-electronics.com/en/products/photonics/recon_roadm.html
- Mera Larrea, D. A. (2005). *Estudio y diseño de las redes ópticas WDM y su aplicación en redes de acceso*. Santiago de Chile: EPN.
- Mouly, M. (19 de marzo de 2012). *dl.acm*. Obtenido de dl.acm:
dl.acm.org/citation.cmf?id=573838
- Mukherjee, B. (2006). *Optical WDM Networks*. New York: Springer.
- OVUM. (2012). *Sistemas ópticos de alta velocidad*. Atlanta: OVUM.
- Pechon de La Cruz, A. (2006). *Evolución de los sistemas móviles celulares GSM*. Madrid: ICESI.
- Ramirez, H. (2010). *La Tecnología DWDM para la construcción de enlaces de Fibra Óptica*. Madrid.
- Romero, A. (16 de mayo de 2012). *ntt electronics*. Obtenido de ntt electronics:
http://www.ntt-electronics.com/en/products/photonics/recon_roadm.html
- Roy, B. (2004). *Sistemas electrónicos de Comunicaciones*. Mexico DF: thomson.
- Rubio, B. (2005). *Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica*. Mexico DF: Paraninfo.
- Sánchez Gonzáles, L. (19 de 03 de 2012). *tlmat*. Obtenido de tlmata:
www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/560.pdf
- Sesia, S. T. (2009). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. Chichester: John Wiley.
- Simmons, J. M. (2008). *Optical Netork Design and Planning*. Holmdel: Springer.

Taferner , M., & Bonek , E. (2007). *Internet Access over GSM and UMTS*. Berlín: Springer.

Tellabs . (2011). *Optical Subnet Planner User's Guide*. San Francisco: Tellabs.

Tellabs INC. (3 de julio de 2012). *www.tellabs.com*. Obtenido de *www.tellabs.com*: <http://www.tellabs.com/solutions/packetoptical/>

Tellabs INC. (16 de julio de 2012). *www.tellabs.com*. Obtenido de *www.tellabs.com*:
<http://www.tellabs.com/products/7000/tellabs7300.shtml>

USB. (12 de junio de 2012). *IDC.USB*. Obtenido de IDC.USB:
<http://www ldc.usb.ve/figueira/redes2/EXPOSICIONES/DWDM/material/dwdm8.htm>

Anexos

Anexo A. Redes LTE

Con el siguiente artículo se pretende explicar las redes LTE como esquema de 4ta generación de la telefonía celular. El artículo engloba la arquitectura y principales características de las redes LTE. Adicionalmente demuestra que de acuerdo a la topología establecida para el diseño de nuestra red de transporte, estas redes de 4ta generación son totalmente compatibles.

LTE/SAE, una apuesta segura en la evolución de las redes móviles.

Autor: Alfonso Miñarro López. Ingeniero Técnico de Telecomunicación.

Extraído: <http://www.lstiforum.com>

El crecimiento explosivo en el número de usuarios de telefonía móvil, unido al estado tecnológico actual hace pensar en una fuerte demanda de aplicaciones móviles de banda ancha, entre las que podríamos destacar la navegación por internet de alta velocidad, el envío y recepción de e-mail, la televisión móvil, la descarga rápida de contenidos multimedia o los juegos interactivos. Satisfacer dicha demanda, consiguiendo que los servicios ofertados resulten atractivos para el usuario al mismo tiempo que los operadores puedan reducir sustancialmente los gastos de operación, requiere continuar avanzando en el desarrollo de las redes móviles actuales.

En este sentido la 3GPP lleva tiempo trabajando en LTE, una nueva interface de acceso radio de alta velocidad significativamente diferente a las tecnologías empleadas en las redes de tercera generación, combinando esquemas de modulación OFDMA en el enlace descendente (de estación Radio al terminal de usuario) y SC-FDMA en el ascendente (de terminal de usuario a Estación Radio) e incorporando técnicas MIMO o SDMA.

En la figura 1 se puede observar el salto cuantitativo de velocidad de las últimas versiones tecnológicas de los sistemas celulares hasta llegar a LTE.

Figura 1. Incremento de velocidades en las redes



El camino hacia la Estandarización de LTE

El detonante para que la 3GPP comenzase a trabajar en el desarrollo de LTE fue reconocer la necesidad de dar respuesta a la demanda en banda ancha móvil, mejorando el servicio prestado hasta el momento y reduciendo el costo por bit, siendo su punto de partida el Workshop celebrado en Toronto sobre la evolución de la Red de Acceso Radio en noviembre de 2004.

Un mes después comenzó la fase de estudio para certificar que LTE cumplía una serie de requisitos, especificados en el *Technical Report 3GPP TR 25.913*, entre los que destacan:

- Velocidad pico de 100Mbps en el enlace descendente y de 50Mbps en el ascendente, para un espectro de 20 MHz, siempre y cuando el equipo del usuario disponga de dos antenas receptoras y una transmisora.
- Flexibilidad en la elección del espectro de frecuencias empleado (1.25MHz, 2.5MHz, 5MHz, 10MHz, 15 MHz y 20 MHz), permitiendo al operador la posibilidad de diseñar su red acorde con los recursos espectrales disponibles.
- Eficiencia espectral 3 a 4 veces superior que en el Release 6 para el enlace descendente y de 2 a 3 veces mejor para el ascendente.
- Reducción de la latencia en la red de acceso radio (tiempo que tardan los paquetes en viajar por la red) a 10ms.
- Cobertura o tamaño de celda entre 5 y 100Km, con una ligera degradación a partir de 30Km.
- Compatibilidad de interconexión con sistemas heterogéneos como las redes 3GPP existentes y entornos no especificados, como pueden ser WLAN o WIMAX.
- Garantía de calidad de servicio extremo a extremo.

La figura 2 muestra los momentos principales del proceso de estandarización de LTE.

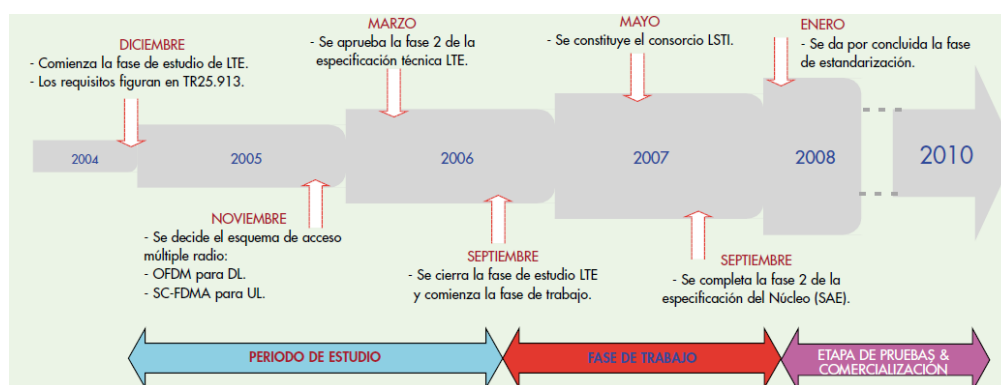


Figura 2. Proceso de estandarización

Diferencias de topología entre UMTS y LTE

La red de acceso radio presenta algunas diferencias sustanciales:

- En UMTS la arquitectura de acceso radio o UTRAN básicamente esta compuesta por las Estaciones Base o nodos B, conectadas mediante la interface Iub al RNC. Por su parte RNC se conecta al núcleo de red mediante las interfaces Iu-CS e Iu-PS a los dominios de circuitos y paquetes respectivamente.
- En LTE se propone la introducción de EUTRAN, cuya arquitectura se describe en las especificaciones técnicas 3GPP TS 36.300 y TS 36.401 y donde la diferencia más significativa con UTRAN es la eliminación de la RNCs al incorporar nodos B evolucionados a los que se les añaden las funcionalidades que hasta ahora realizaban estos.

Dichos eNBs se conectan a través de la interface S1 al núcleo de Paquetes evolucionado o EPC, mientras que mediante la interface X2 se interconectan con otros eNBs adyacentes para permitir los traspasos intercelulares o Inter-handover.

Desde el punto de vista del Núcleo de Red, si bien las redes precedentes al desarrollo de LTE son híbridas al disponer de los dominios de Conmutación de Circuitos y de Conmutación de Paquetes, una de las novedades que presenta LTE consiste en que la convergencia de los servicios de voz y datos proporciona el transporte de todo tipo de tráfico mediante una arquitectura basada en IP, lo que supone la eliminación del dominio de Circuitos e incorpora el concepto de red plana.

En la figura 3 se presenta un resumen de lo descrito anteriormente, siendo importante percatarse que la arquitectura LTE está más optimizada debido a la reducción del número de elementos empleados en la red y que mientras en UMTS sólo se habla de IP en la interface Gn, en LTE la red IP se extiende desde el eNB hasta el núcleo de paquetes evolucionado, de ahí que podamos hablar de un entorno IP.

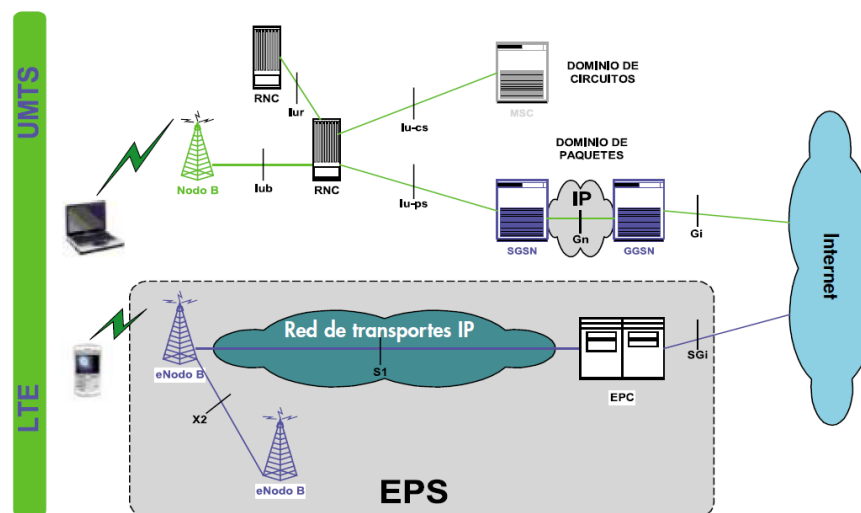


Figura 3. Comparación de arquitectura de UMTS y LTE

La 3GPP denomina a este nuevo concepto de arquitectura de Núcleo de red, como SAE/EPC, mientras que la unión de la red de acceso EUTRAN con el Núcleo de Paquetes Evolucionado es conocido como EPS.

LTE es el último estándar en tecnología de redes móviles y asegurará la competitividad de la 3GPP en el futuro, pudiendo ser considerada una tecnología puente entre las redes 3G – 3.5G actuales y las redes 4G, de las que se espera alcanzar velocidades de hasta 1Gbps.

Desde el punto de vista de los servicios, las aplicaciones basadas en IP comienzan a dominar y en este sentido LTE proporcionará a los operadores una arquitectura simplificada pero robusta a la vez, soportando servicios sobre tecnología IP.

Con la intención de que en el transcurso de unos años LTE se encuentre disponible comercialmente, los objetivos que se persiguen con su implantación son ambiciosos, por una parte el usuario dispondrá de una amplia oferta de servicios de valor añadido con capacidades similares a las que disfruta actualmente con accesos de banda ancha residencial y a precios competitivos, mientras que el operador dispondrá de una red basada en un entorno totalmente IP, reduciéndose la complejidad y el coste de la misma.

Anexo B. Jerarquía Digital Síncrona SDH.

SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) responde a un estándar, para el transporte de información, de la ITU (*International Telecommunication Union*), la cual comienza a implementarse a comienzos de la década de los noventa, y desde entonces se ha seguido utilizando (Chirinos, 2002).

Pensado en principio para ser implementado para uso de la tecnología óptica (aunque el estándar se ha redefinido para su implementación en enlaces satelitales e interfaces eléctricas), consiste en enviar una señal síncrona multiplexada a través del haz de luz.

El formato básico para la señal de SDH permite transmitir diferentes servicios a través de un contenedor virtual (VC). Los VC encapsulan a las tramas SDH para luego añadir cabeceras de control, que identifican el contenido del VC. La trama de SDH es el STM (Synchronous Transport Module), siendo la más elemental el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), el cual puede transportar información a 155 Mbps.

Posteriormente, mediante un proceso de multiplexación, existe la posibilidad de integrar varias estructuras STM-1, lo que genera un aumento en la capacidad de transmisión. De esta forma se genera una jerarquía SDH que a continuación se presenta:

Bit Rate	SDH	Capacidad de SDH
51,84 Mbps	STM-0	21 E1
155,52 Mbps	STM-1	63 E1, 1 E4
622,08 Mbps	STM-4	252 E1, 4 E4
2488,32 Mbps	STM-16	1.008 E1, 16 E4
9953,28 Mbps	STM-64	4.032 E1, 64 E4
39.813,12 Mbps	STM-256	16.128 E1, 256 E4

Tabla 1. Jerarquía SDH. (Rodríguez Raymundo, José. (2000)).

A continuación analizaremos la estructura de la trama SDH:

La trama tiene una duración de 125 micro segundos. La trama del STM-1 consiste, básicamente, en las cabeceras y en el contenedor virtual.

En la sección de cabeceras SOH (*Section Over-Head*)) encontramos los siguientes elementos: el R-SOH y el M-SOH.

El primero, ejerce funciones con respecto a las aplicaciones entre repetidores, y están comprendidos por los bytes entre las filas 1 y 3. El segundo cumple funciones con respecto al uso entre terminales de multiplexación. Corresponden a los bytes entre las filas 5 y 9.

Ahora, el contenedor virtual, es el principal componente de POH (*Path Over-Head*). El contenedor virtual, contiene la información útil del usuario, la cual no se ve modificada a lo largo del proceso de transmisión, sin embargo, existen algunos bytes que se agregan y se desempaquetan en los distintos terminales presentes en la red de transporte. Estos bytes se agregan en función del tipo de contenedor virtual y se dividen en dos tipos: Higher-order Path Layer y Lower-order Path Layer.

A continuación presentamos los bytes correspondientes al Higher-order Path Layer.

Byte	Función
1	Usado para transmitir un Higher Order Path Access Point Identifier
3	Para monitoreo de errores en el VC-4 dentro de la trama STM-N
2	Define la estructura y clase de información que se lleva en el payload
1	Estatus y performance del camino utilizado por el payload.
2-3	Para canales de voz de uso del usuario
4	Provee un indicador del tipo de multi-trama
3	Señalización APS de protección
1	Para propósitos específicos de administración

Tabla 2. Bytes Higher-order Path Layer. (Fuente: Rodríguez Raymundo, José. (2000)).

El segundo tipo de bytes que se agregan son los del tipo Lower-order Path Layer. En la siguiente tabla se muestra el funcionamiento de cada uno de ellos.

byte	Función
5	Corrección de errores, etiquetado de señal y estatus de ruta de los VC12 (BIP-2, REI, RDI)
2	Usado para transmitir repetidamente un Lower Order Path Access Point Identifier
2	Para propósitos específicos de managment
4	Reservado para un uso futuro

Tabla 3. Bytes Lower-order Path Layer. (Rodríguez Raymundo, José. (2000)).

Anexo C. Datos aportados por la operadora

En las tablas se especifican los nodos y su respectiva ubicación geográfica del tramo

Tramo San Juan de los Morros - Anaco

Puntos de Interés	Latitud	Longitud	Clasificación	Tipo de tráfico
USANJUAN_B	9°54'14.87"N	67°21'37.56"O	Ruta del B FO	2G / 3G
BTS_Dos Caminos	9°34'57.57"N	67°18'41.94"O	Acceso	2G
UELSOMBRERO	9°23'17.67"N	67° 3'58.83"O	Ruta del B FO	2G / 3G
BTS_EL COROZO(Pdh)	9°23'20.27"N	66°40'7.53"O	Acceso	2G
BTS_Chaguaramas Guárico	9°21'6.57"N	66°20'52.95"O	Acceso	2G
BTS_Chaguaramas Pueblo	9°20'21.87"N	66°16'23.04"O	Acceso	2G
UFLORDEPASCUA	9°13'17.68"N	66° 1'1.60"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UVALLELAPASCUA	9°12'38.61"N	66° 0'21.06"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UHOTELSANMARCOS	9°11'46.58"N	66° 0'2.49"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UTUCUPIDO	9°16'7.07"N	65°46'14.45"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UZARAZA	9°21'15.47"N	65°20'15.44"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UZARAZACENTRO	9°20'34.67"N	65°19'15.04"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UARAGUABNA	9°27'52.60"N	64°49'1.80"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UANACOCNTR	9°25'54.70"N	64°28'53.70"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UALGARROBO	9°25'6.80"N	64°28'24.60"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UVIENTOFRE	9°26'33.70"N	64°27'55.20"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UANACOESTE	9°26'57.74"N	64°24'50.93"O	Ruta del B FO	2G / 3G

Tabla 1. Sitios y localización Geográfica Tramo San Juan de los Morros – Anaco (Fuente: La operadora)

Tramo Anaco – Puerto La Cruz

Puntos de Interés	Latitud	Longitud	Clasificación	Tipo de tráfico
UVIENTOFRE				
UMATEO	9°44'40.37"N	64°33'10.58"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
BTS_Curataquiche	9°57'26.31"N	64°35'49.32"O	Acceso	2G
UHWCCS	10° 5'3.33"N	64°40'33.34"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
UTAPACORON	10° 6'30.83"N	64°40'4.52"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
UMONTONES	10° 7'50.55"N	64°40'13.35"O	BB FO Urbano	2G / 3G
USUCRE	10° 8'33.80"N	64°40'26.79"O	BB FO Urbano	2G / 3G

UCARBONAL	10° 9'11.77"N	64°40'59.02"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCOLINAS	10°10'21.02"N	64°41'1.85"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UMAXPLAZA	10°10'42.27"N	64°41'25.48"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
UPZAMAYOR	10°10'41.60"N	64°40'59.70"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UVENECIA	10°11'1.50"N	64°39'54.72"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UINTERCOMU	10°11'3.76"N	64°39'32.62"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCNTRMARIN	10°12'13.40"N	64°39'43.15"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UFERRYPLC	10°12'28.71"N	64°38'51.12"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UPASECOLON	10°13'10.91"N	64°38'17.31"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCINCOJULI	10°12'40.72"N	64°38'11.49"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCONTITUCI	10°12'13.80"N	64°38'7.93"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UPBLNUEVO	10°11'19.45"N	64°38'28.13"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UALTERNUNO	10° 9'18.51"N	64°38'25.99"O	Acceso	2G / 3G
UMONTONES	10° 7'50.55"N	64°40'13.35"O		

Tabla 10. Sitios y localización Geográfica Tramo Anaco – Puerto La Cruz (Fuente la operadora)

Tramo Anaco - Maturín

Puntos de Interés	Latitud	Longitud	Clasificación	Tipo de tráfico
UANACOESTE				
UURICABB	9°38'22.99"N	63°59'10.18"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UTEJERO	9°38'4.70"N	63°39'56.63"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UPTAMATA	9°41'5.60"N	63°37'54.80"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UPTAMATCTR	9°41'35.23"N	63°36'35.10"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UFURRIAL	9°41'22.70"N	63°26'52.70"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UVIACOROZO	9°42'31.60"N	63°17'0.30"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UALTOGURI	9°43'44.82"N	63°14'6.81"O	Acceso	2G / 3G
UZNAINDMAT	9°40'57.76"N	63°14'10.86"O	Acceso	2G / 3G
UAVORINOCO	9°44'18.24"N	63°11'53.52"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UAVBICENTE	9°44'45.10"N	63°11'17.10"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UGUARAPICH	9°45'9.29"N	63°10'52.36"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UAEROMONAG	9°45'3.96"N	63° 9'52.92"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UAVLIBERTA	9°44'9.10"N	63°10'18.41"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UPARAISO	9°43'43.46"N	63°11'18.20"O	Ruta del B FO	2G / 3G
UAVORINOCO	9°44'18.24"N	63°11'53.52"O	Ruta del B FO	2G / 3G

Tabla 11. Sitios y localización Geográfica Tramo Anaco – Maturín (Fuente La operadora)

Tramo Anaco – Puerto Ordaz

Puntos de Interés	Latitud	Longitud	Clasificación	Tipo de tráfico
UALGARROBO				
UCANTAURA	9°18'54.68"N	64°22'8.10"O	Acceso	2G / 3G
BTS_Autopista HW Cantaura El Tigre	9° 2'37.80"N	64°18'17.20"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UTIGREBB	8°53'37.70"N	64°15'53.60"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
UTIGRECNTN	8°53'30.90"N	64°14'4.70"O	Ruta del BB FO	2G / 3G
UTGREINTER	8°53'51.10"N	64°12'54.20"O	Acceso	2G / 3G
UEUROTIGRE	8°53'35.94"N	64°11'41.83"O	BB FO Urbano	2G / 3G
BTS_FARALLONES	8°43'20.50"N	63°55'41.40"O	Acceso	2G
BTS_Moron	8°28'13.00"N	63°43'53.70"O	BB FO Urbano	2G
UPASEGASPR	8° 7'18.59"N	63°33'36.04"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UANDBELLO	8° 7'39.43"N	63°32'12.19"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UPASESIMON	8° 7'20.35"N	63°30'34.16"O	Acceso	2G / 3G
UMARHUANTA	8° 6'27.97"N	63°28'56.68"O	Acceso	2G / 3G
BTS_LasPalmas Oeste	8°10'39.22"N	63°14'44.20"O	BB FO Urbano	2G
BTS_Las Palmas Este	8°13'57.36"N	63° 1'59.88"O	BB FO Urbano	2G
UCTRINDCAR	8°15'47.74"N	62°47'55.00"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCARONIORT	8°16'23.27"N	62°47'7.51"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UORINOQUNO	8°17'31.56"N	62°44'34.26"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UALTAVISTA	8°17'38.80"N	62°43'43.18"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCERROBERT	8°17'0.42"N	62°44'33.32"O	Acceso	2G / 3G
UAEROGUAY	8°16'37.27"N	62°45'29.74"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCECIAMB	8°16'1.38"N	62°45'35.36"O	BB FO Urbano	2G / 3G
UCTRINDCAR	8°15'47.74"N	62°47'55.00"O		
UCERROQUEM	8°14'53.74"N	62°47'43.22"O	Acceso	2G / 3G

Tabla 12. Sitios y localización Geográfica Tramo Anaco – Puerto Ordaz (Fuente La operadora)

Anexo D. Características Generales de la serie Tellabs® 7100 Nano Optical Transport System (OTS).

Fuente: <http://www.tellabs.com/products/7000/tlab7100ots.pdf>

El sistema de transporte óptico Tellabs® 7100 Nano™, combina su actualizada tecnología de redes ópticas con capacidades de capa de servicios. Como resultado, obtenemos con este único sistema, un soporte para redes TDM (Time Division Multiplexing) y la providencia de múltiples paquetes de servicios y soporte de red. El sistema de transporte óptico, Tellabs® 7100 Nano™ OTS, (de menor tamaño y con un gasto por consumo de energía menor que el Tellabs® 7100 OTS), usa el mismo sistema de gestión y los mismos módulos de interfaz del Tellabs® 7100 OTS, pudiendo trabajar de manera independiente o formando parte integral del sistema de redes ópticas de Tellabs® 7100 OTS.

Este equipo nos ofrece la posibilidad de trabajar con tecnologías como Add/Drop Multiplexer (ADM), siendo capaz de emplear ADM con cualquiera de las posibles 88 longitudes de onda de forma remota o amplificar todas ellas en la configuración de Optical Line Amplifier (OLA). Es capaz de gestionar el transporte mediante el uso de Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), además, tiene la posibilidad de ejercer funciones de capa 2 (modelo OSI) con una capacidad de 120 Gbps y switcheo TDM, sin la necesidad de la intervención de ningún módulo de capa 2.

- Integración total de Multiservice Provisioning Platform (PSPP), Multiservice Transport Switch (MSTS) y Switcheo de capa 2.
- Multiservicios 100 Mbps a través de interfaces de 40 Gbps propias de la familia de Tellabs® 7100 OTS.
- Uso del mismo Sistema de Gestión de Red de la familia Tellabs® 7100 OTS.
- Plano Dinámico de control óptico para gestión y protección de conexión.

➤ **Beneficios:**

- Ocupa poco espacio físico.
- Bajo consumo de energía.
- Facilidades de instalación.
- Amplias funcionalidades de borde de red.
- Capa óptica programable.
- Ahorros en costos/espacio físico de equipos de capa 2 y mejoramiento de la manejabilidad de la red, gracias a las capacidades de ADM “On a Blade” y la funcionalidad de switcheo/agregación de capa 2.

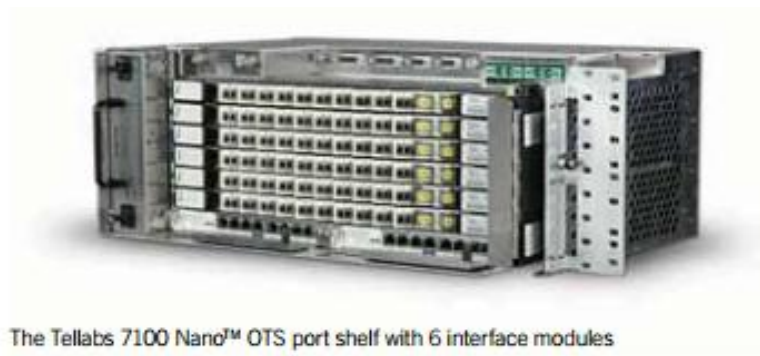
➤ **Características Generales:**

- Metro/Regional packet-optical transport.
- Agregación de servicios Triple Play residenciales.
- Backhaul móvil para 2G/3G/4G.
- Servicios de transporte y entrega de negocios y empresas.
- ADM de siguiente generación para transporte SONET/SDH.
- Digital cross-connect para agregación y concentración de tráfico TDM.
- Agregación de capa 2/switchero para Ethernet y servicios de entrega IP optimizados.
- All-optical cross connect.
- Conectividad al Data Center.
- OTN multiplexing para trunking de todos los servicios.

• Especificaciones Técnicas	
Topología	• Ring • Multi-ring interconnect • Mesh • Linear Add/Drop
Interfaces	○ 100BaseFX ○ OC3, OC12, OC48, OC192, OC768 ○ STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 ○ ESCON/SBCON, FC/2, FC/4, FC/8 ○ DVB-ASI ○ 1G/2G/4G/10G FC, 1G/2G FICON, 1G/2G ISC ○ 1 GbE, 10 GbE (LAN/WAN) ○ OTU1, OTU2, OTU3 ○ Cualquier rata genérica entre 100 Mbps to 3.4 Gbps ○ SD-SDI, HD-SDI, Dual Link, 3G-SDI
Red	• Hasta 88 longitudes de onda a 10 Gbps y 40 Gbps • ROADM de 4to grado. • All-optical pass-through para longitudes de onda. • Ganancia de amplificación variable para optimizar costos según las características de pérdidas de la fibra y longitud de enlace. • Transponders ampliamente modificables a través de las 88 ondas. • Múltiples opciones de protección y restauración. OTN multiplexing
Administración y Planeamiento	○ Plano de control dinámico para gestión de conexión y protección. ○ Tellabs® 7191 Craft Station ○ Tellabs® 7196 Optical Subnet Planner

	○ Tellabs® 8000 Intelligent Network Manager
Certificaciones	• MEF9 and MEF14 certified for EPL, EVPL and E-LAN service delivery. • SAN: certificación Brocade, cualificación EMC, cualificación IBM .
Espacio Físico	○ Dimensiones: – 472.4 x 220.9 x 299.7mm, o 18.6 x 8.7 x 11.8 inches (Ancho x Alto x Profundidad) – 5RU ○ Poder: -48 V DC nominal (-40 VDC a -75 V DC) voltage
Condiciones de Operación	• Temperatura de operación: 5° C a 40° C (41° F a 104° F) normal y -5° C a 50°C (23° F a 122° F) temporalmente. • Humedad relativa: 5–85%, sin condensación.

➤ **Imagen:**



Anexo E. Características Generales de la serie Tellabs® 7325 Ethernet Edge Switch.

Fuente: <http://www.tellabs.com/products/7000/tlab7325ees.pdf>

El Tellabs® 7325 Ethernet Edge Switch, es un switch de capa 2. Consta de 24 puertos Ethernet de triple velocidad (10/100/1000 Mbps). Este equipo es capaz de dar soporte a la demanda de banda ancha que constantemente se incrementa en las redes de hoy. El Tellabs® 7325 Ethernet Edge Switch, provee Metro Ethernet networking con todas las funcionalidades que ofrece Ethernet y capacidades de administración y mantenimiento (OAM). El Tellabs® 7325 Ethernet Edge Switch, en combinación con los equipos de la serie óptica Tellabs® 7100 OTS, nos permite diseñar, desarrollar y administrar redes, satisfaciendo cualesquiera sean las necesidades y requerimientos de las mismas de una manera óptima y costo-efectiva.

➤ **Beneficios:**

- Ocupa poco espacio físico.
- Bajo consumo de energía.
- Facilidades de instalación.
- Amplias funcionalidades de borde de red.

➤ **Características Generales:**

- 24 Gbps (24G) en solo 1 unidad de Rack (RU).
- Soporte de interface a 10 Mbps a través de 1 Gigabit Ethernet
- Configuraciones flexibles de despliegue con interfaces basadas en SFP.
- Profiles múltiples de servicios. Soporta amplio rango de servicios.
- Capacidades Full Ethernet OAM para monitoreo y verificación de servicios.
- Gestión: Tellabs 7100 OTS y Tellabs 8800 MSR series networks.
- Soporte de temperaturas extremas.
- Fuentes de poder redundantes.

➤ **Especificaciones Técnicas:**

Ethernet	• 24 SFP-based 10/100/1000X • 802.1D — MAC bridging —STP/RSTP • 802.1Q — VLAN Bridging —MSTP • 802.1ad — Provider Bridging —VLAN switching/stacking —Q-in-Q support • 802.3ad — Link Aggregation Control Protocol (LACP) • 802.3ah — Link OAM • 802.1ag — Ethernet Connectivity OAM • Y.1731 — Service Layer OAM • G.8031 — Ethernet Linear Protection • Jumbo frames
Gestión	○ IPv4 ○ Secure Shell (SSH) ○ In-band management VLAN ○ Simple Network Management Protocol Version 2 (SNMPv2) ○ Simple Network Management Protocol Version 3 (SNMPv3) ○ Command Line Interface (CLI) ○ Remote Monitoring (RMON) — RFC 2819 ○ Network Time Protocol (NTP) — RFC 1305 ○ Craft station GUI (Tellabs® 7191Craft Interface)
Gestión de Tráfico y QoS	• Clasificación de capa 2 y capa 3 • Single Rate Three Color Marking (srTCM) — RFC 2697 • Two Rate Three Color Marking (trTCM) —RFC 2698 • Ocho clases de servicios por puerto • Flexible scheduling — strict priority and deficit-weighted round robin
Otros	○ 32K MAC addresses ○ 4K VLANs ○ 1K Multicast groups ○ Port mirroring ○ VLAN mirroring
Seguridad	• Access control lists • Control protocol filtering

	• Login de derechos del usuario
Servicios	○ E-LINE ○ Ethernet Local Area Network (ELAN) ○ Metro Ethernet Forum (MEF) User Network Interface (UNI) Tipo 1 ○ Certificaciones MEF 9 y 14
Dimensiones y Condiciones de Operación	• Dimensiones- —Altura: 1.75 in (4.5 cm) —Ancho: 17.5 in (44.5 cm) —Profundidad: 11.0 in (27.9 cm) —Peso: 7.1 lbs (3.2 kg), incluyendo la unidad redundante de fuente de energía (PSUs) —19-inch data rack • Temperatura de operación y humedad. —40° F a +149° F (-40° C a +65° C) —0%–95% Humedad relativa, sin condensación. —ETSI EN 300 019-1-3 • Temperatura de almacenamiento. —40° F a 158° F (-40° C a +70° C) —ETSI EN 300 019-1-1
Fuente de Poder	○ -38V to -72V DC input power ○ 100V a 240V AC
Regulaciones	• FCC Part 15, Class A • Transportation ETSI EN 300 019-1-2 • Ethernet UNI Type 1 (MEF 13) • Ethernet Services Definition (MEF 6 and MEF 10.1) • Ethernet Services Delivery (MEF 9 and MEF 14) • UL 60950 1st Addition • NEBS Level 3 • RoHS • China RoHS • DOT-WM_333 • WEEE

➤ **Imagen:**



Tellabs® 7325 Ethernet Edge Switch