

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:
DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA ENTRE QUITO Y GUAYAQUIL
PARA EL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS

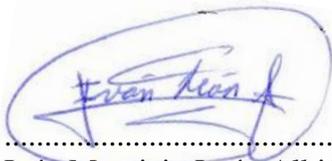
AUTOR:
IVÁN MAURICIO LEÓN ALBIÑO

TUTOR:
JHONNY JAVIER BARRERA JARAMILLO

Quito, julio del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Iván Mauricio León Albiño, con documento de identificación N° 171830977-4, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA ENTRE QUITO Y GUAYAQUIL PARA EL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Iván Mauricio León Albiño
171830977-4
Quito, julio del 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA ENTRE QUITO Y GUAYAQUIL PARA EL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS realizado por Iván Mauricio León Albiño, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2016



Jhonny Javier Barrera Jaramillo.

1400378475

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico primero a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor ya que sin su poder y grandeza nada en esta vida se cumpliría.

A mi madre, que es lo más importante en mi vida que con su cariño y amor siempre supo cómo ayudarme en mis múltiples problemas, me enseñó y demostró lo que es ser ejemplo de arduo trabajo y tenaz lucha en la vida.

A mi padre, que a pesar de las dificultades siempre me apoyó en todo lo que necesité, gracias por sus regaños, halagos y consejos. Muchos de ellos no los entendía en su momento, pero hoy sé que todos fueron por mí bien porque quería que sea una persona íntegra.

A toda mi familia, porque me han brindado su apoyo incondicional y han compartido los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis amigos universitarios, con quienes nos apoyamos mutuamente durante nuestra formación profesional, a los amigos de la infancia y del colegio que hasta ahora seguimos siendo amigos.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Jhonny Barrera, por su paciencia, por su valiosa dirección, por su amistad, su experiencia, su motivación y decidido apoyo para avanzar en el arduo camino que conllevó el desarrollo de mi trabajo de titulación y llegar a la conclusión del mismo.

A la Universidad Politécnica Salesiana, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Al Ing. Raúl Hernández por su guía, ayuda, experiencia y a todo el personal del Departamento de Telecomunicaciones de la Dirección de Tecnologías de Información y Comunicaciones del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas en especial al director Ing. Luis Ortega Gutiérrez Msc Coronel CSM, por permitirme realizar mi proyecto técnico en tan prestigiosa institución.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	5
MARCO CONCEPTUAL.....	5
1.1 Sistemas de telecomunicaciones	5
1.2 Introducción a la fibra óptica.....	6
1.3 Componentes de la fibra óptica	6
1.4 Elementos de un sistema óptico	6
1.5 Ventajas de la fibra óptica en sistemas de comunicación.....	8
1.6 Desventajas de la fibra óptica en sistemas de comunicación	9
1.7 Aplicaciones	9
1.8 Espectro óptico	9
1.9 Reflexión	10
1.10 Refracción	11
1.11 Reflexión interna Total y ángulo crítico.....	12
1.12 Ángulo de aceptación	12
1.13 Apertura numérica	12
1.14 Fibra óptica Monomodo	13
1.15 Fibra óptica Multimodo	13
1.16 Atenuación en los sistemas de transmisión ópticos.....	14
1.17 Pérdidas intrínsecas en la fibra	14
1.18 Pérdidas extrínsecas en la fibra	14
1.19 Pérdidas por empalme y conectorización	15
1.20 Dispersión en sistemas ópticos.....	15
1.21 Red de transporte óptico (OTN).....	16
1.21.1 Características	16
1.21.2 Arquitectura.....	17
1.21.3 Estructura de la trama.....	19
1.21.4 Velocidades binarias y periodo de trama OTN	20
1.21.5 Ventajas de OTN.....	21
CAPÍTULO 2	22

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ENTRE LAS OFICINAS DE QUITO Y GUAYAQUIL DEL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS	22
2.1 Descripción de la situación inicial.....	22
2.2 Topología actual	22
2.3 Servicios de telecomunicaciones en la red MODE	25
2.4 Problemática.....	27
2.5 Análisis de requerimientos	28
CAPÍTULO 3	30
DISEÑO DE LA RED	30
3.1 Metodología.....	30
3.2 Diseño físico.....	31
3.3 Diseño lógico.....	35
3.4 Fórmulas y cálculos.....	36
CAPÍTULO 4	39
PRUEBAS Y SIMULACIONES	39
4.1 Transmisor óptico modulado externamente	41
4.2 Receptor óptico.....	45
4.3 Simulación primera alternativa.....	46
4.3.1 Tramo: Guayaquil-Pallatanga	46
4.3.2 Tramo: Pallatanga- Riobamba	50
4.3.3 Tramo: Riobamba-Ambato	53
4.3.4 Tramo: Ambato-Machachi	57
4.3.5 Tramo: Machachi-Quito.....	61
4.4 Simulación segunda alternativa.....	64
4.4.1 Tramo: Guayaquil – Machala	64
4.4.2 Tramo: Machala – Cuenca	68
4.4.3 Tramo: Cuenca – Tambo.....	72
4.4.4 Tramo: Tambo – Riobamba	75
CAPÍTULO 5	80
ANÁLISIS ECONÓMICO	80
5.1 Factibilidad Técnica	80
5.2 Factibilidad Económica.....	80
5.3 Flujo de caja	81

5.3.1	Primera Alternativa:	82
5.3.2	Segunda Alternativa:	84
5.4	Valor actual neto (VAN)	86
5.5	Tasa interna de retorno (TIR)	87
5.6	Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	87
CONCLUSIONES		90
RECOMENDACIONES		92
REFERENCIAS		93
ANEXOS		96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características que diferencian las fuentes LED y LASER.	7
Tabla 2. Características que diferencian los receptores LED y LASER.	8
Tabla 3. Valores de las ventanas.	10
Tabla 4. Velocidades binarias y periodo de trama OTN.	20
Tabla 5. Información general de los costos de mantenimiento de la Red MODE.	26
Tabla 6. Flujo de caja correspondiente al año 5 de la primera alternativa.	82
Tabla 7. Flujo de caja correspondiente al año 10 de la primera alternativa.	83
Tabla 8. Flujo de caja correspondiente al año 5 segunda alternativa.	84
Tabla 9. Flujo de caja correspondiente al año 10 de la segunda alternativa.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Se distinguen las partes principales de una fibra óptica	6
Figura 2. Longitudes de onda que poseen el espectro electromagnético.	9
Figura 3. Ángulos de reflexión presentes en el medio 1 y 2 respectivamente de la fibra óptica.	11
Figura 4. Ángulos de refracción presentes en el medio 1 y 2 respectivamente de la fibra óptica.	11
Figura 5. la apertura numérica y el ángulo de aceptación el cual podemos despejar de la ecuación 1.4.....	12
Figura 6. Aumento de las capas de la señal cliente hasta llegar al canal óptico	17
Figura 7. Proceso de multiplexación de una señal óptica mediante la tecnología OTN..	18
Figura 8. Subdivisión de un canal óptico en la tecnología OTN	19
Figura 9. División de bytes dentro de una trama OTN	20
Figura 10. Distribución de los radio enlaces de la red PDH presentes a nivel Nacional .	23
Figura 11. Mapa del trayecto Guayaquil Quito primera alternativa.	33
Figura 12. Mapa del Ecuador del trayecto Guayaquil Quito en su segunda alternativa. ..	34
Figura 13. Diagrama Lógico de la red en su alternativa 1.	35
Figura 14. Diagrama Lógico de la red en su alternativa 2.	36
Figura 15. Entorno gráfico del Software OPTSIM.	40
Figura 16. Distribución de las partes del transmisor construido.	41
Figura 17. Diagrama del ojo del transmisor.	42
Figura 18. Señal eléctrica emitida por el transmisor.	42
Figura 19. Señal del espectro eléctrico emitido en el transmisor.	43
Figura 20. Transmisor con 4 longitudes de ondas.	43
Figura 21. Espectro óptico del transmisor con 4 longitudes de ondas.	44
Figura 22. Distribución de las partes del transmisor construido.	45
Figura 23. Señal recibida por los 4 canales.	45
Figura 24. Espectro óptico del Tx en el trayecto Guayaquil Pallatanga.	46
Figura 25. Espectro óptico del Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.	47
Figura 26. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.	48

Figura 27. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.	48
Figura 28. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.	49
Figura 29. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.	49
Figura 30. Espectro óptico del Tx en el trayecto Pallatanga Riobamba.	50
Figura 31. Espectro óptico del Rx en el trayecto Pallatanga Riobamba.	51
Figura 32. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba.	51
Figura 33. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba.	52
Figura 34. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba.	52
Figura 35. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba.	53
Figura 36. Espectro óptico del Tx en el trayecto Riobamba Ambato.	54
Figura 37. Espectro óptico del Rx en el trayecto Riobamba Ambato.	54
Figura 38. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.	55
Figura 39. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.	56
Figura 40. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.	56
Figura 41. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.	57
Figura 42. Espectro óptico del Tx en el trayecto Ambato Machachi.	57
Figura 43. Espectro óptico del Rx en el trayecto Ambato Machachi.	58
Figura 44. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi.	59
Figura 45. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi.	59
Figura 46. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi.	60

Figura 47. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi.	60
Figura 48. Espectro óptico del Tx en el trayecto Machachi Quito.....	61
Figura 49. Espectro óptico del Rx en el trayecto Machachi Quito.	62
Figura 50. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.....	62
Figura 51. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Machachi Quito..	63
Figura 52. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.	63
Figura 53. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.	64
Figura 54. Espectro óptico del Tx en el trayecto Guayaquil Machala.	65
Figura 55. Espectro óptico del Rx en el trayecto Guayaquil Machala.....	65
Figura 56. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Guayaquil Machala..	66
Figura 57. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Guayaquil Machala.	67
Figura 58. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Guayaquil Machala. ..	67
Figura 59. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Guayaquil Machala.	68
Figura 60. Espectro óptico del Tx en el trayecto Machala Cuenca.....	68
Figura 61. Espectro óptico del Rx en el trayecto Machala Cuenca.	69
Figura 62. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Machala Cuenca.	70
Figura 63. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Machala Cuenca....	70
Figura 64. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Machala Cuenca.	71
Figura 65. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Machala Cuenca. ...	71
Figura 66. Espectro óptico del Tx en el trayecto Cuenca Tambo.	72
Figura 67. Espectro óptico del Rx en el trayecto Cuenca Tambo.....	72
Figura 68. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo.....	73
Figura 69. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo.	74
Figura 70. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo.	74
Figura 71. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Cuenca Tambo.....	75
Figura 72. Espectro óptico del Tx en el trayecto Tambo Riobamba.....	76
Figura 73. Espectro óptico del Rx en el trayecto Tambo Riobamba.	76
Figura 74. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba. ...	77
Figura 75. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba..	78
Figura 76. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba.	78
Figura 77. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Tambo Riobamba. .	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones fibra G.655 de la recomendación ITU-T G.655 (Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable)..	96
Anexo 2. Cálculos generales para el enlace de fibra óptica.....	97
Anexo 3. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid	99
Anexo 4. Tramo Guayaquil – Pallatanga.	102
Anexo 5. Esquema técnico del tramo Guayaquil - Pallatanga.	103
Anexo 6. Mapa del tramo Pallatanga - Riobamba.	104
Anexo 7. Esquema del tramo Pallatanga Riobamba.	105
Anexo 8. Mapa del tramo Riobamba - Ambato.	106
Anexo 9. Esquema del tramo Riobamba Ambato.....	107
Anexo 10. Mapa del tramo Ambato - Machachi.....	108
Anexo 11. Esquema del tramo Ambato Machachi.....	109
Anexo 12. Mapa del tramo Machachi - Quito.....	110
Anexo 13. Esquema del tramo Machachi Quito.	111
Anexo 14. Mapa del tramo Guayaquil – Machala.	112
Anexo 15. Esquema del tramo Guayaquil – Machala.....	113
Anexo 16. Mapa del tramo Machala - Cuenca.....	114
Anexo 17. Esquema del tramo Machala - Cuenca.	115
Anexo 18. Mapa del tramo Cuenca - Tambo.	115
Anexo 19. Esquema del tramo Cuenca - Tambo.....	117
Anexo 20. Mapa del tramo Tambo Riobamba.	118
Anexo 21. Esquema del tramo Tambo Riobamba.	119
Anexo 22. Resumen de los valores del capítulo 4	120
Anexo 23. Características del equipo OSN 8800.....	124
Anexo 24. Características del equipo OSN 8800.....	125
Anexo 25. Cotización Huawei primera alternativa	125
Anexo 26: Cotización Huawei segunda alternativa	127

RESUMEN

Las Telecomunicaciones constituyen actualmente un pilar fundamental para el desarrollo de las organizaciones. Las ventajas que proporcionan los sistemas de comunicaciones escalables, adaptables y confiables son infinitas, su implementación requiere entre otros elementos del uso de medios de transmisión de altas prestaciones, permitiendo una adecuada adaptación e integración de tecnologías emergentes brindando servicios de mejor calidad.

El presente proyecto tiene como objetivo principal, diseñar la red de telecomunicaciones para interconectar las oficinas del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas (COMACO) ubicadas en las ciudades de Quito y Guayaquil utilizando fibra óptica como medio de transmisión. Durante su desarrollo, se consideró como prioridad, el aseguramiento de una óptima integración futura con la infraestructura subyacente para garantizar la migración amigable hacia esta nueva tecnología sin arriesgar el correcto funcionamiento de los subsistemas existentes en la institución.

El diseño final obtenido, cubre un análisis técnico de los tramos geográficos con sus respectivos cálculos matemáticos para estimar el desempeño de la red con la respectiva simulación del comportamiento de los enlaces utilizando el software OptSim. Adicionalmente se realizó un análisis de la factibilidad económica para determinar los costos de inversión así como el tiempo de recuperación de la misma en el caso de que el COMACO decida realizar su implementación.

Además de las prestaciones destacadas en el diseño de la red óptica en cuanto a velocidad y capacidad de los enlaces, en los procesos de transmisión se aplicarían altos niveles de seguridad y confidencialidad permitiendo al COMACO gestionar su información clasificada de forma confiable.

ABSTRACT

Telecommunications are now a fundamental to the development of organizations. The advantages that provide scalable, adaptable and reliable communications systems are endless, and its implementation requires among other things, the use of high performance medium transmission such as optical fiber, thus allowing an adequate adaptation and integration of emerging technologies for providing better quality telecommunications services.

This project's main objective, is the design of the telecommunications network to interconnect the offices of the Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas (COMACO) located in the cities of Quito and Guayaquil using optical fiber as transmission medium for optimizing their existing connections. During its development, it was considered as a priority, to get an optimal future integration with the internal infrastructure to ensure the friendly migration without jeopardizing the proper functioning of all subsystems in the institution.

The final design obtained covers a technical analysis of the geographical sections and its respective mathematical calculations to estimate the performance of the network with the respective simulation of the behavior of links using the software OptSim. Additionally, an analysis of the economic feasibility study was conducted to determine the investment costs and recovery time of it in the event that the Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador decides to make its implementation.

In addition to all the features that stand out in the design of the optical network in terms of speed and capacity of the links, in the transmission processes would apply high levels of security and confidentiality allowing the Fuerzas Armadas of our country manage their information classified reliably.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se encuentra dividido en 5 capítulos, los mismos que de forma sistémica explican el diseño la red de fibra óptica para dar soporte a los procesos comunicacionales que requiere el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador. A continuación se explican de forma general el contenido de cada uno de los capítulos indicados:

En el capítulo 1, se presenta el marco conceptual y teórico relacionado con las tecnologías ópticas y de los principales elementos tecnológicos presentes en el diseño.

En el capítulo 2 se describe la situación actual del sistema de telecomunicaciones de las Fuerzas Armadas del Ecuador entre los repartos ubicados en las ciudades de Quito y Guayaquil. Se realizara además una descripción de los costos operativos y técnicos que conllevan mantener estos enlaces.

En el capítulo 3 se explica el desarrollo el diseño de la red óptica en base a la metodología top-down. Se describen el diseño físico y el diseño lógico de los tramos considerados en dos alternativas posibles.

En el capítulo 4 se realiza el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones de las dos alternativas propuestas en el diseño, para lo cual se compararán los diferentes gráficos de cada tramo de la simulación realizada en el software OptSim.

En el capítulo 5 se definen los equipos que se utilizarán y se representa un análisis de factibilidad económica para determinar la viabilidad de recuperación y el beneficio del presente proyecto.

Planteamiento del problema.

El Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador (COMACO) constituye el máximo órgano de planificación, preparación y conducción estratégica de las operaciones militares y de asesoramiento sobre las políticas militares, de guerra y defensa nacional, por tanto es el encargado de organizar y mantener el poder militar en los procesos que garanticen la seguridad de la nación y su desarrollo. Actualmente este organismo tiene presencia en todo el país a través de unidades militares, sin embargo las oficinas más importantes se encuentran ubicadas en las ciudades de Quito y Guayaquil donde se concentran el mayor número de direcciones de planificación y oficinas de logística encargadas de contribuir a la consecución de los objetivos nacionales de defensa, previstos para tiempo de paz, de conflicto y/o guerra. (Comando Conjunto de las FF.AA, 2014) (Congreso Nacional, 2009)

Para apoyar sus actividades administrativas y delicadas operaciones, actualmente el COMACO hace uso de una red de comunicaciones basada en ondas de radio conocida como MODE DIGITAL que provee un ancho de banda teórico de 150 Mbps y que soporta los requerimientos de la entidad relacionados principalmente con la transmisión de datos y las comunicaciones entre los distintos puntos a nivel nacional. Esta red fue implementada hace aproximadamente 17 años, y durante este tiempo el crecimiento en la demanda y transmisión de tráfico en la institución, ha provocado que la capacidad de este enlace llegue a los niveles de saturación haciendo muy compleja la tarea de incorporar nuevos servicios de última tecnología.

Dada esta situación, las autoridades del COMACO conscientes de la necesidad de innovar la red que conecta las oficinas de las ciudades de Quito y Guayaquil (UIO-GYE), han dado su aprobación para que se realice el diseño de un nuevo enlace haciendo uso de la fibra óptica como medio de transmisión, la misma que gracias a sus características permitirá satisfacer los crecientes requerimientos de la Institución en cuanto a la velocidad de sus enlaces así como implementar nuevos servicios como el sistema de videoconferencia, comunicación de VoIP, uso de aplicaciones compartidas en tiempo real y otros, que son de vital importancia para el desarrollo normal de sus operaciones.

Justificación del proyecto.

El Comando Conjunto está compuesto por tres importantes instancias de acción nacional y que son: las Fuerzas Terrestre, Naval y Aérea. Tal como lo indica su nombre, esta institución en forma integral, desarrolla su planificación sobre la base de la Directiva de defensa Militar emitida por el Ministerio de Defensa Nacional, la que prevé el empleo conjunto de los medios destinados a la defensa militar de la nación. Entre sus principales atribuciones y deberes está asesorar al Presidente de la República y al Ministro de Defensa Nacional sobre las políticas militares y de guerra, así como en el estudio y solución de problemas relacionados con la seguridad del territorio del Estado.

Como organismo superior de las Fuerzas Armadas, el COMACO participa directamente en la preparación y conducción estratégica de las operaciones militares, para lo cual debe mantener las capacidades operativas conjuntas de prevención, defensa, respuesta y de participación en operaciones de paz, ayuda humanitaria y gestión de crisis. Por tanto, esta macro actividad y responsabilidad requiere de una infraestructura de telecomunicaciones y conectividad de altas prestaciones entre los diferentes localidades del país donde tiene presencia.

Al ser una de las instituciones más importantes del país, las aplicaciones y/o servicios que brinda el Comando Conjunto de las FF.AA son de suma importancia debido a que permiten la toma de decisiones trascendentales relacionadas con la Seguridad Nacional y/o Soberanía Territorial. Es por ello que el COMACO se ha preocupado siempre de estar en constante innovación, aún más considerando el rápido crecimiento de sus requerimientos que han evidenciado la urgente necesidad de optimizar su parque tecnológico y con ello utilizar enlaces de altas prestaciones entre sus filiales para mantener sus procesos de comunicación en los más altos niveles de calidad. Esta situación justifica, el desarrollo del presente proyecto que tiene como fin diseñar una red de fibra óptica que optimizará los servicios actuales y permitirá incorporar otros más al sistema de comunicaciones de las FF.AA, brindando

de esta forma confiabilidad, confidencialidad, disponibilidad y seguridad en sus actividades así como un normal desempeño de sus funciones.

Objetivos generales y específicos.

Objetivo general:

Diseñar la red de fibra óptica para el enlace entre las oficinas de Quito y Guayaquil del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.

Objetivos específicos:

1. Analizar la red actual del COMACO entre las oficinas de Quito y Guayaquil para determinar los requerimientos técnicos.
2. Diseñar la red de Fibra Óptica entre los puntos indicados para incrementar el número de las aplicaciones gracias al mayor ancho de banda.
3. Simular la red diseñada mediante el software OptSim para comprobar la factibilidad operativa y técnica del proyecto.
4. Realizar el análisis de factibilidad económica para determinar en qué tiempo COMACO puede recuperar la inversión del diseño.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

1.1 Sistemas de telecomunicaciones

Un Sistema de Telecomunicaciones consiste básicamente en el despliegue de una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hacia uno o varios destinos. La infraestructura encargada del transporte de la información es denominada "red de telecomunicaciones", la misma que permite para brindar un servicio a través de equipos terminales que permiten la entrada a dicha red por medio de un canal de acceso. Cada servicio de telecomunicaciones tiene distintas características, pudiendo utilizar diferentes redes de transporte y por lo tanto se obliga al a disponer de distintos equipos terminales. (ILCE)

La importancia de las telecomunicaciones se observa cuando los usuarios (clientes, proveedores, vendedores y compradores) realizan operaciones de Tx-Rx constantemente desde y hacia cualquier parte del mundo. Entre las principales aplicaciones que son parte de las telecomunicaciones tenemos a las trasmisiones de radio, telefonía, televisión, las cuales están encargadas de emitir o recibir información puede ser a través de cables, medios ópticos o de forma inalámbrica.

De forma general, un Sistema de telecomunicaciones se encuentra conformado por:

1. Emisor: Es la entidad que envía el mensaje, prepara la información para que pueda ser enviada por el canal, tanto en calidad (adecuación al canal) como en cantidad (amplificando la señal).
2. Receptor: Es la entidad a la cual el mensaje está destinado, puede ser una persona, grupo de personas, un dispositivo inteligente, etc.
3. El mensaje: Es la información que se transmite puede ser analógica o digital, lo importante es que llegue completo y con fidelidad.
4. Medios de comunicación: es el medio físico a través del cual se transfieren la información de transmisor a receptor. (Reyes Herrera, 2012)

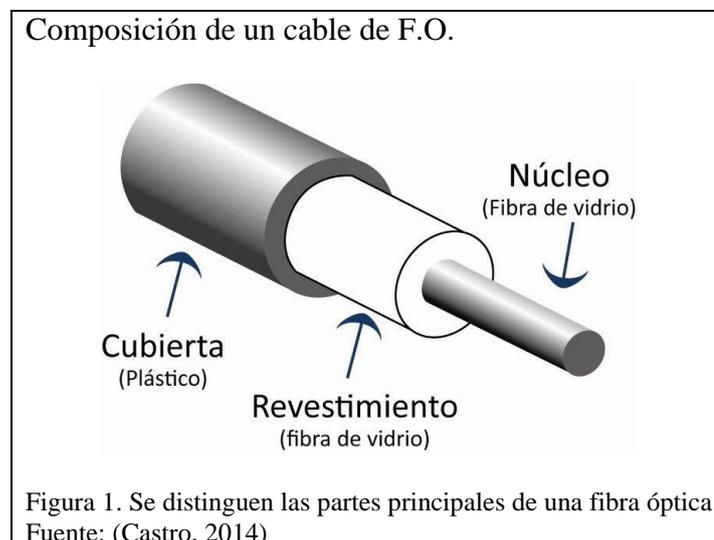
5. Lenguaje o protocolos de transmisión: Son el conjunto de códigos, símbolos y reglas que gobiernan la transmisión de la información, en los que se encuentra hardware (computadora, multiplexores, controladores, módems), el dispositivo del proceso de comunicación (muestra como ocurre la comunicación), software de comunicación (controla el proceso de la comunicación). (Cuéllar)

1.2 Introducción a la fibra óptica

La fibra óptica es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido que es utilizada para conducir la luz, esta luz representa la información transmitida de una manera guiada, se requieren dos filamentos para una comunicación bi-direccional los cuales representan al transmisor (TX) y al receptor (RX). (Proaño, 2012)

1.3 Componentes de la fibra óptica

La fibra óptica se encuentra constituida por una varilla de vidrio muy delgada, que se encuentra rodeada por una capa protectora de plástico, la varilla de vidrio contiene dos partes, la parte interior de la varilla (núcleo) y la capa que le cubre (revestimiento). (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)



1.4 Elementos de un sistema óptico

Los elementos que se encuentran presentes en un sistema óptico son básicamente 3: los transmisores, medio de transmisión y receptor.

Transmisores ópticos: tienen como función principal generar la señal que va a ser transmitida a través de la fibra óptica, las fuentes de luz tienen una estructura basada en dispositivos semiconductores con uniones P-N, tales como son los LED o LÁSER, los cuales emiten luz en determinadas longitudes de onda acorde a las ventanas de operación de la fibra.

Diodo LED (Ligth Emitting Diode): es una fuente de luz empleada para las comunicaciones por fibra óptica, las longitudes de onda típicas en las que trabaja están entre 850nm o 1300nm, y además se las utiliza con fibra multimodo en LAN o enlaces cortos.

Laser (Ligth Amplification by Stimulated Emission of Radiation): es una fuente de luz empleada para las comunicaciones en fibras monomodo, su funcionamiento está basado en la emisión estimulada o inducida que provoca un fotón al inducir a un electrón a pasar de estado de alta energía a estado de menor energía, lo cual produce la emisión de un nuevo fotón con la misma frecuencia y fase (monocromáticos) del estimulante, lo que genera una luz más coherente y sincronizada. (Arévalo, 2015)

Tabla 1. Características que diferencian las fuentes LED y LASER.

Características	LED	LASER
Potencia óptica	Baja	Alta
Espectro de radiación	30nm y 150nm	<1nm
Fiabilidad en altas temperaturas	Alta estabilidad	Baja estabilidad
Tiempo de respuesta	Alto	Bajo
Vida útil	Mayor	Menor

Nota: diferencias de los dos tipos de fuentes ópticas, Fuente: (Arévalo, 2015)

Receptores ópticos: El receptor o decodificador óptico se encuentra en el extremo opuesto (final) del sistema de fibra óptica, su función es detectar el pulso luminoso que llega desde el transmisor para convertirlo nuevamente en la señal eléctrica original que contiene la información que estaba guardada en la luz en el extremo del transmisor, cuando esto ocurre la información regresa a la forma de 1 y 0, y está lista para ser enviada a cualquier dispositivo electrónico receptor (computadora, monitor

de video, etc), podemos destacar de este grupo a los receptores fotodiodos PIN (Positive-Intrinsic-Negative) y APD (Avalanche Photodiode). (Arévalo, 2015)

En la tabla 2 se aprecian las principales características de los tipos de receptores ópticos:

Tabla 2. Características que diferencian los receptores LED y LASER.

Característica	PIN	APD
Materiales de construcción	Silicio, Germanio, InGaAs, InP	Silicio, Germanio, InGaAs, InP
Ancho de banda	DC a 40 GHz	DC a 40 GHz
Longitud de onda	600 a 1800 nm	600 a 1800 nm
Responsividad	0.5 a 1 A/W	0,5 a 100 A/W
Circuitos de soporte requeridos	Ninguno	Estabilización de temperatura
Costo	\$1 a \$500	\$100 a \$2000
Tiempo de vida	Mayor	Menor

Nota: las diferencias de los dos tipos de receptores ópticos, Fuente: (Arévalo, 2015)

1.5 Ventajas de la fibra óptica en sistemas de comunicación

1. La mayor ventaja que presenta la fibra óptica es su gran ancho de banda, lo cual permite la implementación de un número mayor de aplicaciones que los medios convencionales. Este medio puede proveer anchos de banda alrededor de los Ghz.
2. Por ser un medio dieléctrico, la fibra es inmune al ruido y a las interferencias electromagnéticas. Esta característica toma mucha importancia cuando los cables deben pasar por zonas donde existen instalaciones de alta tensión.
3. Presenta una alta compatibilidad con tecnologías en evolución lo cual facilita una migración y soporte de aplicaciones emergentes
4. La materia prima de la cual se compone abunda en la tierra por lo que es de fácil construcción.

1.6 Desventajas de la fibra óptica en sistemas de comunicación

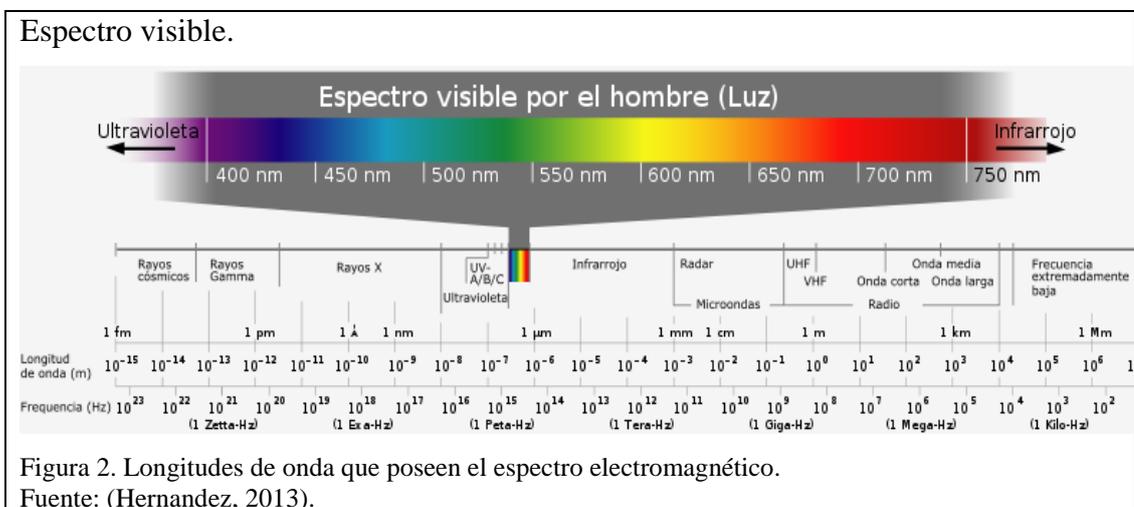
1. Es muy frágil por lo que se debe tener cuidado al momento de manipularla durante su implementación.
2. Aún su precio es bastante alto en comparación con otras tecnologías cableadas como por ejemplo el par trenzado.

1.7 Aplicaciones

1. Se puede usar para enlaces muy distantes (distancias mayores a 100Km).
2. Enlaces de altos requerimientos de calidad en su desempeño como video, sonido, etc.
3. Aplicaciones militares debido a los beneficios en la seguridad de la transmisión que presenta frente a las comunicaciones por radio y cables convencionales. Su uso reduce notablemente la necesidad de codificación de mensajes en virtud de la seguridad anti detección inherente a las fibras. (Del Valle, Dupré, & Parra, 2002)

1.8 Espectro óptico

Se denomina espectro óptico a una parte del espectro electromagnético, la cual es capaz de ser percibida por el ojo humano, se encuentra compuesto por radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nm ($4 \cdot 10^{-7}$ y $7 \cdot 10^{-7}$ m). (Harteneck)



La longitud de onda se puede definir como la distancia que ocupa una onda en el espacio en un determinado intervalo de tiempo.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

De la ecuación 1.1 se describe que:

λ = longitud de onda (metros)

c= velocidad de la luz (metros/segundos)

f= frecuencia (hertzios)

Para las comunicaciones ópticas se utilizan longitudes de onda cercanas al infrarrojo, para aprovechar las diferentes ventajas de fibra óptica.

Tabla 3. Valores de las ventanas.

Número de ventana	Rango (nm)	Valor típico (nm)
Primera ventana	800-900	850
Segunda ventana	1260-1360	1330
Tercera ventana	1530-1565	1550
Cuarta ventana	1565-1625	1625
Quinta ventana	1460-1530	1470

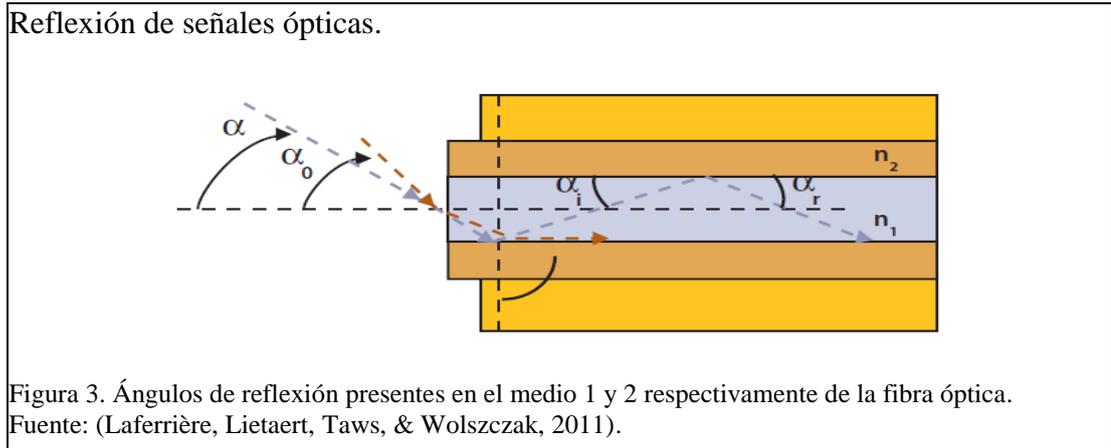
Nota: resumen de los valores de las ventanas de fibra óptica, Fuente: (Arévalo, 2015)

1.9 Reflexión

Es el cambio en la dirección de un rayo de luz en una interfaz entre dos medios de transmisión diferentes. El rayo se refleja y se mantiene en el núcleo si $\alpha < \alpha_0$; los ángulos de incidencia (α_i) y el ángulo de reflexión (α_r) deben ser iguales como se puede apreciar en la fig. 3, donde: (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

α = ángulo formado por el rayo de luz incidente.

α_0 = ángulo de aceptación.



1.10 Refracción

Es la desviación de un rayo de luz incidente entre dos medios de transmisión diferentes. Si $\alpha > \alpha_0$, entonces el rayo totalmente se refracta y no es capturado por el núcleo, en la reflexión se cumple la ley de Snell:

$$n_1 \sin \alpha_i = n_2 \sin \alpha_r \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

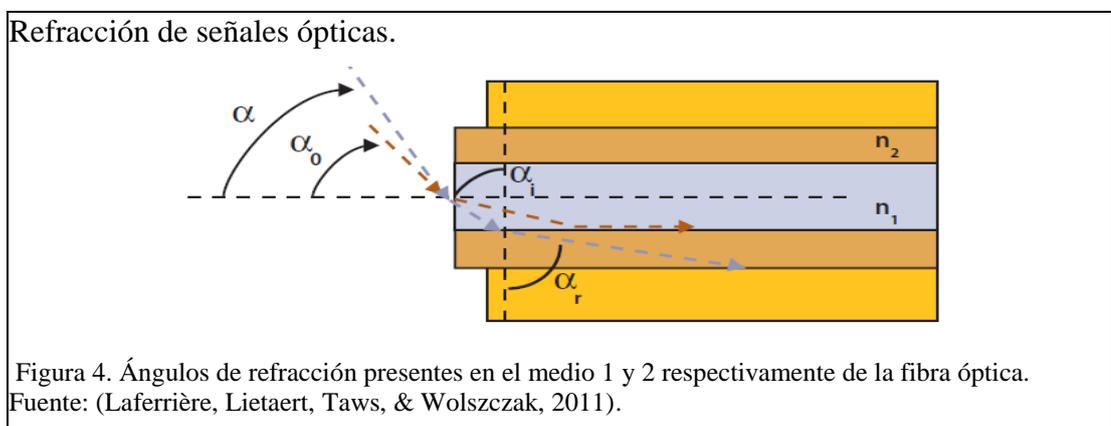
Dónde:

n_1 =índice de refracción del medio 1

n_2 =índice de refracción del medio 2

α_i =ángulo de incidencia

α_r =ángulo de refracción



1.11 Reflexión interna Total y ángulo crítico

La reflexión total interna (RTI) es lo que hace posible que los haces de luz viajen a través de la fibra, básicamente es tener múltiples reflexiones internas.

Condiciones:

1. El índice de refracción del núcleo siempre tiene que ser mayor que el del manto
2. Para que exista RTI al interior de la fibra, el ángulo de incidencia de la onda que se propaga tiene que ser mayor que el ángulo crítico (θ_c).

El ángulo crítico lo podemos encontrar de la ley de Snell (ecuación 1.2) cuando el ángulo refractado es de 90° con respecto a la normal del plano de separación.

$$\alpha_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

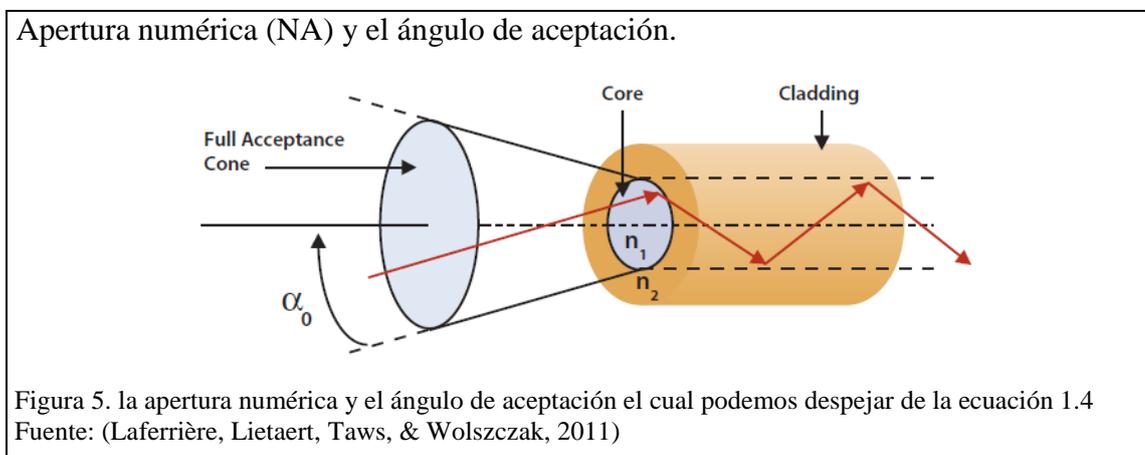
1.12 Ángulo de aceptación

El ángulo de aceptación (α_0) es el ángulo de mayor tamaño que puede incidir en el ingreso a la fibra para que al interior logre RTI.

1.13 Apertura numérica

Es el parámetro que indica la cantidad de luz que puede poseer una fibra óptica.

$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{Ecuación (1.4)}$$



1.14 Fibra óptica Monomodo

Las dimensiones típicas que posee una fibra monomodo en su núcleo es de 8 a 12 micras y el revestimiento de 125 micras, el ángulo típico núcleo-revestimiento es de 8,5°, mientras que el índice de refracción de la fibra monomodo es típicamente 1.465.

La ventaja de la fibra monomodo es su rendimiento más alto con respecto al ancho de banda y la atenuación, debido a que el diámetro del núcleo es reducido lo cual limita la luz a una sola modalidad de propagación (un solo haz de luz), eliminando la dispersión modal completamente.

Con componentes adecuados de dispersión de compensación, una fibra monomodo puede transportar la señal de 10 Gbit / s, 40 Gbit / s y sobre largas distancias. (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.15 Fibra óptica Multimodo

La fibra multimodo posee un gran núcleo lo que permite la transmisión de la luz utilizando diferentes caminos (múltiples modos) a lo largo del enlace, por esta razón es muy sensible a la dispersión modal.

Las principales ventajas de la fibra multimodo son la facilidad que posee para acoplarse a fuentes de luz y a otras fibras, poseen fuentes de luz de menor costo (transmisores), a pesar de tener estas ventajas su alta atenuación y bajo ancho de banda delimitan la transmisión de la luz a través de fibra multimodo a distancias cortas.

1. Multimodo de índice escalonado: El índice de refracción es uniforme en el núcleo, tiene un diámetro mínimo del núcleo de 50 o 62,5 μm , un diámetro del revestimiento entre 100 y 140 μm , y una apertura numérica entre 0,2 y 0,5.
2. Multimodo de índice gradual: El índice de refracción no es uniforme, disminuyendo gradualmente desde el eje central al revestimiento, debido a esta variación del índice del núcleo obliga a que los rayos de luz para paseen

a través de la fibra de forma sinusoidal, posee una apertura numérica típica de 0,2. (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.16 Atenuación en los sistemas de transmisión ópticos

Como la señal de luz atraviesa la fibra, esta disminuye el nivel de potencia. La disminución en el nivel de potencia se expresa en dB o como una tasa de pérdida por unidad de distancia (dB/km). (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.17 Pérdidas intrínsecas en la fibra

Pérdidas por absorción: son pérdidas producidas por la luz cuando es absorbida en la fibra debido a que energía es convertida en calor debido a la resonancia de longitud de onda y gracias a las impurezas moleculares.

Pérdidas por Dispersión de Rayleigh: provoca la dispersión de la energía luminosa en todas las direcciones, con algo de la luz que escapa del núcleo de la fibra, Una pequeña parte de esta energía de luz se devuelve hacia abajo del núcleo y se denomina retrodispersión.

Dispersión de la luz hacia adelante (dispersión Raman) y la luz hacia atrás dispersión (dispersión de Brillouin) son dos de dispersión adicional fenómenos que pueden ocurrir en los materiales ópticos en condiciones de alta potencia. (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.18 Pérdidas extrínsecas en la fibra

Son las pérdidas por curvaturas que son ocasionadas por curvaturas generadas al momento de la manipulación (tendido o instalación), se producen debido a un cambio de ángulo de incidencia en el umbral entre el núcleo y la cubierta, provocados por Microcurvaturas y Macrocurvaturas, que constituyen problemas comunes durante la instalación de sistemas de cable. Las Microcurvaturas se producen cuando el núcleo de la fibra se desvía del eje y puede ser causada por defectos de fabricación, las limitaciones mecánicas durante el proceso por el que la fibra, y las variaciones ambientales (temperatura, humedad o presión) durante la vida útil de la fibra.

Las Macrocurvaturas se refieren a la existencia de una gran curva en la fibra (con más de un radio de 2 mm). (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.19 Pérdidas por empalme y conectorización

Son las pérdidas presentes en los sistemas ópticos que son generados por los elementos que se adicionan a la fibra durante su instalación. Las pérdidas en un empalme mecánico son de aproximadamente 0.5 dB, mientras que en un empalme por fusión podrían llegar a ser de 0.2 dB, para las pérdidas originadas en los conectores en cambio tenemos que están en el orden de 0.1 a 0.7 dB. (Macas & Cartagena, 2010)

1.20 Dispersión en sistemas ópticos

La dispersión reduce el ancho de banda efectivo disponible para la transmisión. Existen tres tipos de dispersión:

Dispersión modal: esta dispersión se presenta normalmente en la fibra multimodo, se da cuando un pulso de luz es demasiado corto con diferencia a los demás pulsos que al inyectarse todos en la fibra dentro de su abertura numérica, provoca que toda la energía no alcanza el extremo de la fibra al mismo tiempo (los pulsos llegan en tiempos diferentes al receptor).

Dispersión cromática: se produce debido a que un pulso de luz está formado por diferentes longitudes de onda, cada uno de estas viajando a velocidades diferentes por la fibra, provocando el aumento del pulso de luz cuando se llega al receptor lo que reduce la relación señal a ruido y el aumento de los errores de bits.

Dispersión por modo de polarización: la dispersión por modo de polarización (PMD) es una propiedad básica de la fibra monomodo la cual afecta a la magnitud de la velocidad de transmisión, la consecuencia del PMD es que nos limita la tasa de bits de transmisión en un enlace, por lo que debemos conocer el valor PMD de la fibra para calcular los límites de velocidad de bits del enlace de fibra óptica (Laferrière, Lietaert, Taws, & Wolszczak, 2011)

1.21 Red de transporte óptico (OTN)

Actualmente la tecnología OTN es uno de los componentes principales en la infraestructura de las comunicaciones ópticas. Se la conoce como un contenedor digital debido a su capacidad para unir servicios en contenedores digitales ópticos, posee capas jerárquicas similares a la tecnología SDH pero con mayores velocidades de conmutación, y que pueden ser aplicadas directamente sobre las distintas longitudes de onda manejadas en la tecnología DWDM. (Albán & Vásquez, 2013)

Esta tecnología fue diseñada con el objetivo de optimizar los recursos existentes en una red de transporte, y proveer soporte para redes ópticas basadas en tecnología DWDM, que permitan manejar transmisiones de múltiples longitudes de onda sobre una única fibra para lograr mayores capacidades de transmisión, mejor rendimiento de transporte, que admita la gestión y supervisión de los canales ópticos que llevan las señales. (Albán & Vásquez, 2013)

1.21.1 Características

1. La tecnología OTN es aplicada en redes regionales o metropolitanas que manejan mediana o grandes capacidades de tráfico. (Albán & Vásquez, 2013)
2. Es una arquitectura basada en la tecnología DWDM, donde la carga de datos es soportada por una longitud de onda, incluyendo canales de supervisión y de administración para establecer la señalización de la red. (Albán & Vásquez, 2013)
3. OTN es conocido como un "contenedor digital" debido a su capacidad para adherir cualquier servicio en los contenedores digitales ópticos. (Albán & Vásquez, 2013)
4. Posee jerarquías similares a la tecnología SDH con la diferencia que maneja mayores velocidades de conmutación como OTU1 (2,5Gbps), OTU2 (10,70 Gbps), OTU3 (40Gbps). (Albán & Vásquez, 2013)
5. Permite utilizar equipamiento ROADM con mayores direcciones de conmutación que la tecnología DWDM. (Albán & Vásquez, 2013)

6. OTN trabaja en la mismo rango de frecuencias que DWDM asignado por la UIT -T G. G94. Grilla espectral de aplicaciones WDM. (Albán & Vásquez, 2013)

1.21.2 Arquitectura

La arquitectura OTN permite el transporte multiservicio de paquetes basado en el tráfico de datos y gestión de cada canal óptico asignado a una determinada longitud de onda, esto se lo realiza mediante la adición de una cabecera (OH) a la señal cliente, que facilita la gestión y el control de la información, además de la utilización de corrección de errores en la recepción de la señal, para esto se introducen dos capas de red digital como la ODU y OTU, una capa de sección OTU admite una red de capa de trayecto ODU como el cliente, y proporciona una capacidad de seguimiento del OCh, con el propósito de que todas las señales cliente correspondan a un canal óptico, para el transporte de una señal cliente dentro de una red OTN, primero esta señal debe someterse a un proceso de encapsulación de cabeceras (OH), con el fin de asegurar la supervisión de extremo a extremo. (Albán & Vásquez, 2013), como lo representa la Figura 6.

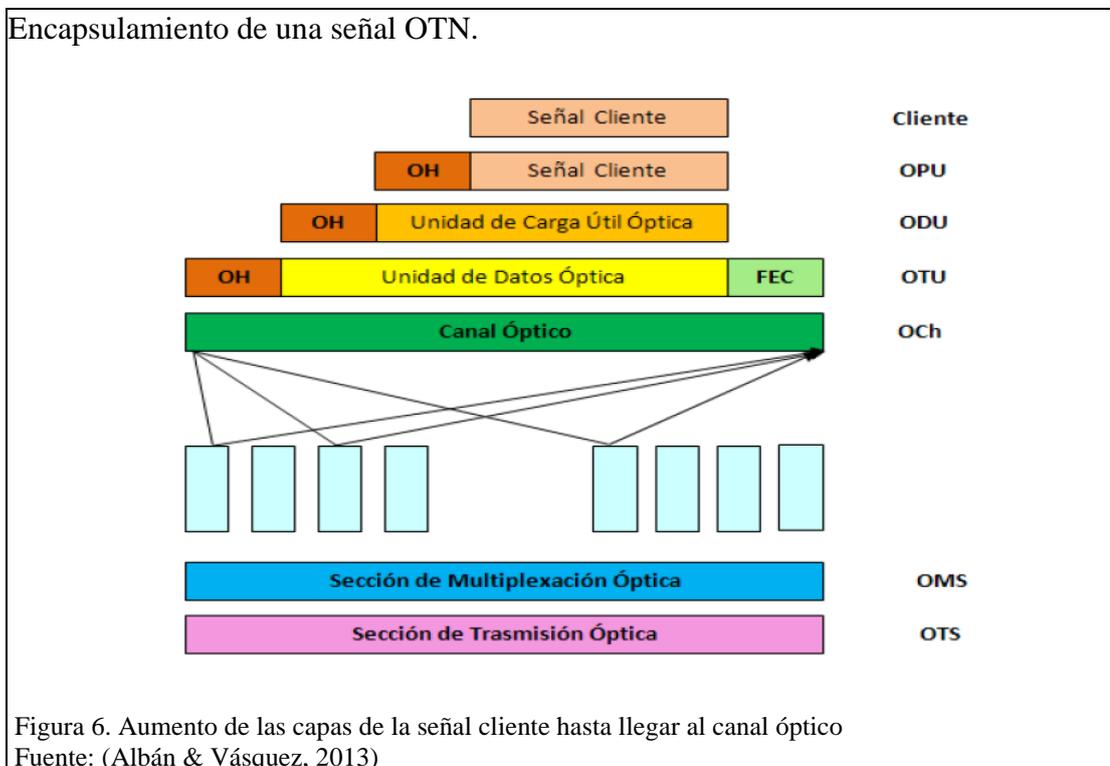


Figura 6. Aumento de las capas de la señal cliente hasta llegar al canal óptico
Fuente: (Albán & Vásquez, 2013)

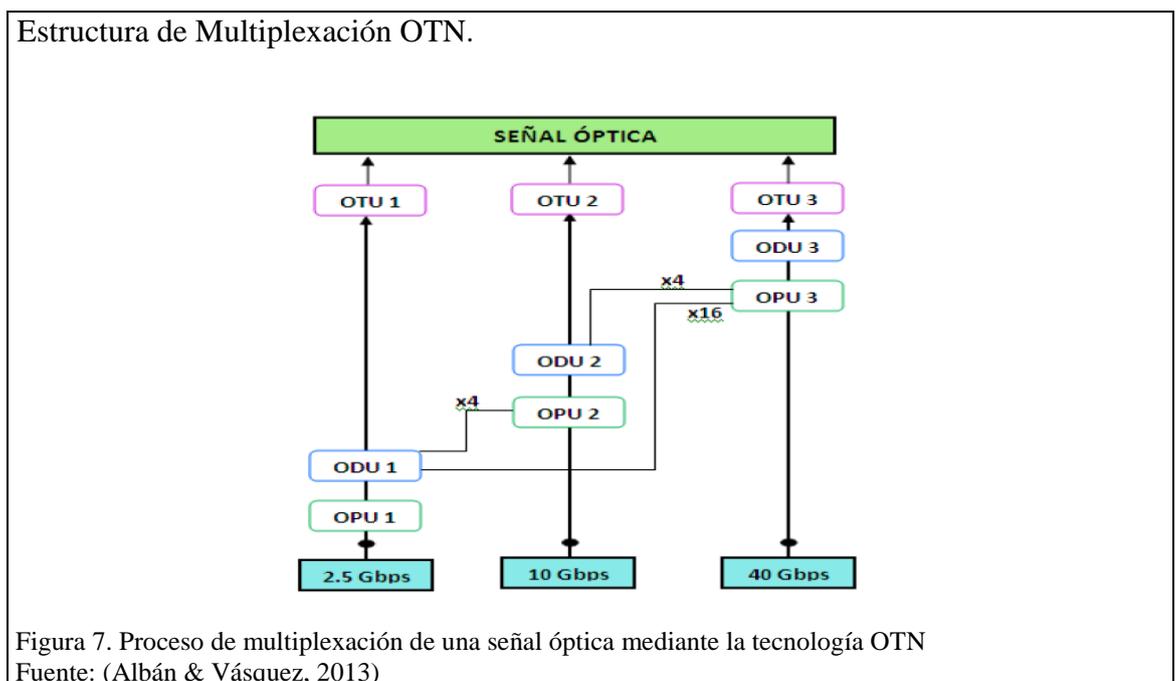
La recomendación G.872 de la UIT – T describe una red de transporte óptico que se descompone en capas de red independientes, cada una puede ser dividida por separado de manera que refleje la estructura interna de esa capa de red. Una red OTN básicamente está compuesta por tres secciones. (Albán & Vásquez, 2013)

1. Sección de Transporte Óptico (OTS)

Proporciona el transporte de una sección de multiplexación a través de un camino de transmisión óptica entre puntos de acceso, una sección de transporte óptica de orden n puede soportar un solo ejemplar de una sección de multiplexación óptica del mismo orden. La OTS define una interfaz física, con parámetros tales como frecuencia, nivel de potencia y relación señal/ruido. (Albán & Vásquez, 2013)

2. Sección de Multiplexación Óptica (OMS)

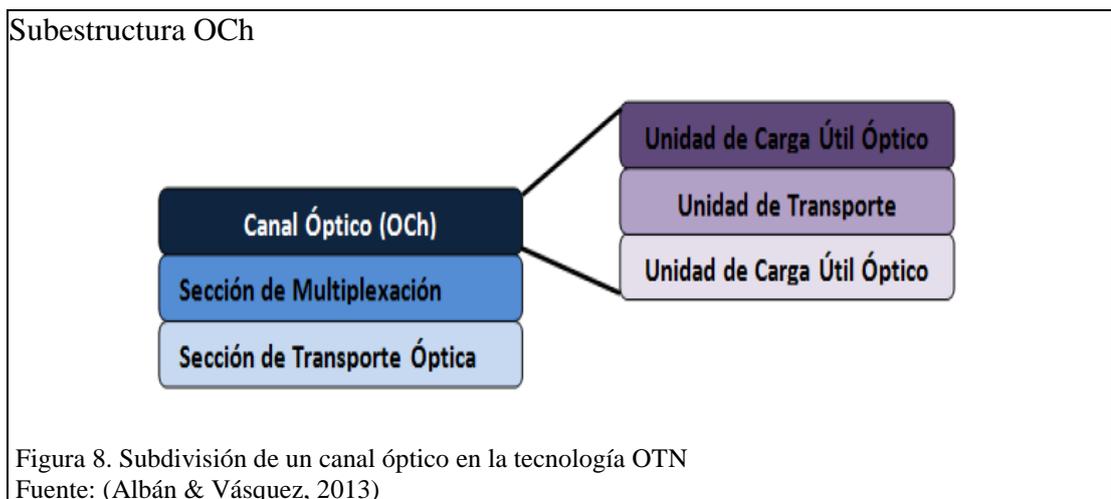
La capa de red proporciona el transporte de canales ópticos a través de un camino de multiplexación entre puntos de acceso para la interconexión de redes de una señal óptica con múltiples longitudes de onda, estas capacidades de interconexión permiten soportar la operación y la gestión de redes ópticas (Albán & Vásquez, 2013), como lo muestra la Figura 7.



3. Canal Óptico (OCh)

La recomendación G.709 de la UIT – T define que un canal de red de transporte óptico se descompone en dos capas de red, la unidad de datos del canal óptico (ODU), unidad de carga útil de canal óptico (OPU) y capas de transporte independientes como la unidad de transporte del canal óptico (OTU), donde cada capa puede ser dividida por separado de manera que refleje la estructura interna de esa capa de red, como se representa en la figura 8. (Albán & Vásquez, 2013)

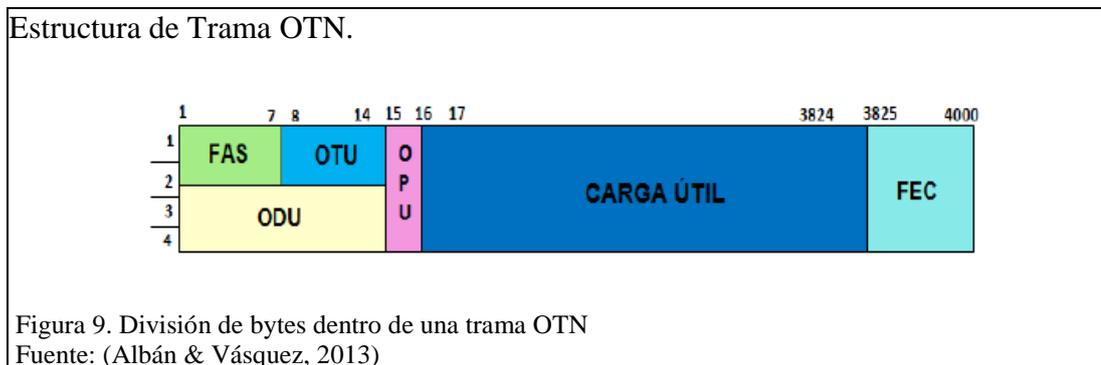
El canal óptico OCh está estructurado por capas a fin de soportar la gestión de red, conexiones de red transparentes entre puntos de regeneración 3R de la OTN y las funcionalidades de supervisión definidas en la recomendación G.872 de la UIT – T. (Albán & Vásquez, 2013)



1.21.3 Estructura de la trama

La trama básica de una red de transporte óptico contiene varios bytes dirigidos a operaciones específicas como la carga útil del canal óptico (OPU) la cual contiene todos los canales de la trama OTN, la unidad de datos del canal óptico (ODU) que cumple funciones de transporte a nivel de ruta de la OPU, la unidad de transporte óptico (OTU) que proporciona el encabezado a nivel de sección para la ODU y

suministra los bytes para el canal de comunicaciones (GCC0). (Albán & Vásquez, 2013)



1.21.4 Velocidades binarias y periodo de trama OTN

En la tabla 4 se representan las velocidades existentes en los distintos periodos de una trama de la red OTN.

Tabla 4. Velocidades binarias y periodo de trama OTN

VELOCIDADES BINARIAS OTN (K=1,2,3)		
OTU_k	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
OTU1	2,666	48,971
OTU2	10,709	12,191
OTU3	43,018	3,035
ODU_k	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
ODU1	2,498	48,971
ODU2	10,03	12,191
ODU3	40,319	3,035
OPU_k	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
ODU1	2,498	48,971
ODU2	10,037	12,191
ODU3	40,319	3,035

Nota: se presenta las velocidades Binarias y Periodo De Trama OTN, Fuente: (Albán & Vásquez, 2013)

1.21.5 Ventajas de OTN

1. Aísla la red contra la incertidumbre en los servicios ya que proporciona un transporte de señales nativo de tipo transparente, encapsulando toda la información de gestión y del cliente.
2. Realiza un multiplexado para uso óptimo de la capacidad, con lo cual se mejora la eficiencia de red.
3. Permite la escalabilidad de la red y es compatible con servicios Ethernet dedicados con definiciones de servicio para 1 GbE, 10 GbE, 40 GbE y 100 GbE, con mayores tasas al inicio de la especificación.
4. Proporciona una supervisión del rendimiento de múltiples niveles y una capacidad de mantenimiento mejorada para las señales que cruzan las redes multi-operador.
5. Permite la conectividad de malla automatizada y restauración de malla de 50 ms para clientes Ethernet, OTN, SONET y SDH en combinación con el plano de control inteligente. (Ciena, 2016)

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ENTRE LAS OFICINAS DE QUITO Y GUAYAQUIL DEL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS

2.1 Descripción de la situación inicial

Al iniciar sus operaciones en el año de 1979, el COMACO de las Fuerzas Armadas del Ecuador procedió a implementar un sistema de comunicaciones a nivel nacional para cubrir las necesidades de transmisión desde y hacia las diferentes unidades militares con sus respectivos centros de mando. Por temas de seguridad y privacidad, este sistema conocido como red MODE (Micro Onda Del Ecuador) se implementó de forma independiente a los sistemas de comunicaciones públicos que existían en el país. Inicialmente este sistema se denominó red MODE ANALÓGICA y su principal proveedor de equipos fue la empresa Siemens.

Posteriormente en el año 1998 y como resultado de un estudio técnico realizado por personal calificado del COMACO, se empezaron a detectar varios problemas relacionados con el desempeño de la red MODE ANALÓGICA tales como la presencia de ruido, fallas continuas en la transmisión, entre otros. Debido a ello, se procedió a actualizar el sistema y a la nueva red se denominó RED MODE DIGITAL (este sistema funciona hasta la actualidad). En esta ocasión se usaron para los enlaces de transmisión, equipos de la empresa Alcatel, sin embargo actualmente se disponen de equipos Cisco para el sistema de datos.

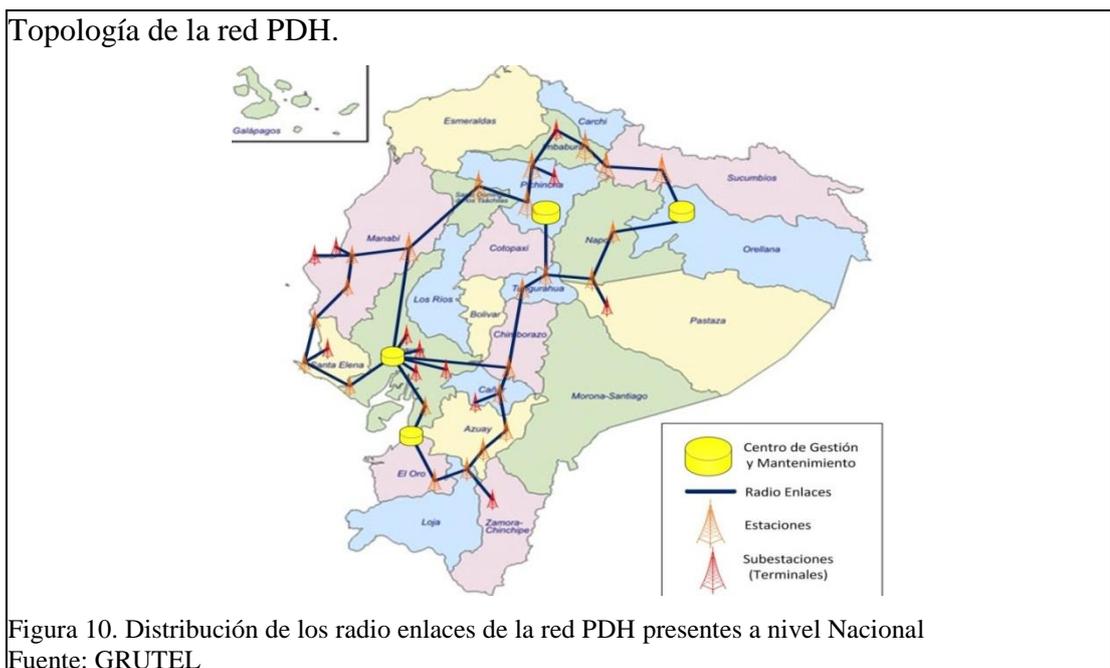
2.2 Topología actual

La red MODE DIGITAL se basa en una topología física de anillos desde la cual se interconectan los equipos de radio enlace hacia las distintas ubicaciones. La funcionalidad de este sistema se basa en cuatro anillos a nivel nacional que son supervisados por matrices de control (nodos principales) o mejor conocidos en las FF.AA como Centros de Gestión y Mantenimiento. Estos anillos se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

1. **Anillo Nororiental:** Su centro de Gestión y Mantenimiento se encuentra ubicado en el COCA, cubre la provincia de: Napo, cubre las provincias de: Orellana, Sucumbíos e Imbabura.
2. **Anillo Central:** Su centro de Gestión y Mantenimiento se encuentra ubicado en QUITO, cubre las provincias de: Pichincha, Cotopaxi, Los Ríos, Tungurahua, Bolívar y parte de la provincia de Chimborazo.
3. **Anillo Occidental:** Su centro de Gestión y Mantenimiento se encuentra ubicado en GUAYAQUIL, cubre las provincias de: Guayas y Manabí.
4. **Anillo Sur:** Su centro de Gestión y Mantenimiento se encuentra ubicado en MACHALA, cubre las provincias de: Cañar, Azuay, El Oro, Loja y parte de: Zamora Chinchipe y Chimborazo.

Estos Centros de Gestión y Mantenimiento además de gestionar los datos de varias Unidades Militares (Recintos Militares, Batallones, Departamentos, Organismos Internos o Centros de generación y usuarios), también coordinan el mantenimiento y gestión de los anillos que les corresponde.

Los Subcentros de Gestión también son parte de cada uno de los anillos, éstos gestionan los datos de Unidades Militares pero no están encargados del mantenimiento de los tramos designados en los anillos.



En la figura 10 se puede observar la distribución de las estaciones y subestaciones donde se encuentran los centros de gestión y mantenimiento para cada radio enlace a nivel nacional. En esta figura también se pueden observar los anillos a nivel Nacional antes ya mencionados que posee el COMACO.

Los equipos con los que cuentan las estaciones PDH son de modelo MELODIE 9400LX de la marca Alcatel, y se encuentra conformado por:

1. Bastidor ETSI: es una estructura metálica que permite alojar los componentes de los equipos Melodie 9400LX en dualidad con una Motherboard (placa base de circuito impreso que permite la conexión entre las tarjetas que trabajan en el equipo Melodie 9400Lx) en su interior, también incluye tres alimentaciones de energía, un conjunto de conectores BNC para los tributarios y filtros pasa banda que permiten configurar la frecuencia de la señal que ingresará al equipo.
2. Emisor: es un componente que permite asegurar el funcionamiento del equipo a una determinada frecuencia, en otras palabras básicamente es un bloque de hiperfrecuencia (Considera las frecuencias altas para microondas, valores típicos se encuentran entre los 7 GHz y 23 GHz) acoplado en una tarjeta.
3. Receptor: es un componente que tiene un funcionamiento similar al emisor, también es un bloque de hiperfrecuencia.
4. Tarjeta multiplex station unit (MSU): es una tarjeta multiplexora/demultiplexora en la cual su función es multiplexar los tributarios para su transmisión.
5. Tarjeta unidad de interfaz de tributario (TIU): es una tarjeta que se conecta principalmente con la MSU que trabaja como interfaz física con los afluentes, además permite las conversiones HDB3 a binario.
6. Sistema power supply unit (PSU): es una fuente que su función es alimentar cada etapa de emisión y recepción.

Los equipos Melodie 9400LX están configurados para trabajar con dos canales de servicios (16 E1's por canal) más un E1 de respaldo; los equipos tienen una capacidad máxima de 5 canales de servicio más un E1 de respaldo.

En una conexión mediante la red PDH se utilizan los siguientes equipos: una BTS (se puede considerar como la parte del emisor), un conversor (Módulo URAD) de interfaces X.21 a G.703 y viceversa, el bloque de la red PDH, una PABX A (central propia de la red Troncalizado), PABX B (central de la red Conmutación la cual se conecta mediante circuitos dedicados con la central PABX A) y el centro nodal (receptor).

2.3 Servicios de telecomunicaciones en la red MODE

La red MODE DIGITAL es considerada actualmente el pilar fundamental en las telecomunicaciones de las Fuerzas Armadas del Ecuador. Esta red permite la comunicación integral entre sus unidades ubicadas en distintos lugares de nuestro país y provee los siguientes servicios:

1. **Servicio de voz:** es utilizado por todos los usuarios de FF.AA, se basa en tecnología TDM y está conformada por alrededor de 5000 abonados a nivel nacional.
2. **Servicio de voz IP:** esta tecnología posibilita enviar señales de voz en paquetes de datos por una red digital, posee menor número de abonados que el servicio de voz, es usado con licencias, es utilizado por organismos internos específicos de FF.AA, a diferencia del servicio de voz tradicional es económica ya que sólo se factura el tráfico de datos.
3. **Servicio de datos:** es utilizado para la transmisión de información entre las unidades militares.
4. **Internet:** el acceso a este servicio se da por medio de proveedores en cada uno de los nodos principales en las distintas regiones que se encuentren éstas.
5. **Video conferencia:** se ha estado realizando pruebas con teléfonos Grandstream en el sistema de Conmutación para liberar el ancho de banda

utilizado en los otros sistemas, pero es utilizado de una manera muy limitada en el sistema de Datos, debido a que su uso es exclusivo para las autoridades.

Con el pasar del tiempo y aun cuando se han realizado varios cambios, la RED MODE ha empezado a presentar limitaciones relacionadas principalmente con su velocidad y capacidad de trasmisión de tráfico de diferentes fuentes ocasionando dificultades para solventar las necesidades crecientes de la entidad. De igual forma y considerando que los equipos de comunicaciones son antiguos, los costos para mantener operativos los enlaces requieren de una inversión de USD. 1,700.000 anuales.

En la tabla 5 se presenta una descripción de la distribución de los costos de mantenimiento que conlleva el funcionamiento de la red MODE en el COMACO:

Tabla 5. Información general de los costos de mantenimiento de la Red MODE.

TIPO DE MANTENIMIENTO	CONCEPTO	PRESUPUESTO	
Repuestos y accesorios	Tarjetas, equipos, etc.	\$ 238.000,00	COSTOS
Servicios especializados, reparación	Reparación de equipos	\$ 221.000,00	
Informática	Mantenimiento (software, licencias)		
Infraestructura	La parte física (torres, cuartos de equipos, etc.)	\$ 102.000,00	
Logística	1. Vehículos (repuestos, accesorios)	\$ 68.000,00	
	2. Combustible/aceite		
	3. Fletes		
	4. Transporte (aéreo/terrestre)	\$ 170.000,00	
	5. Peajes/tasas		
Gastos administrativos	Luz, agua, teléfono, servicios	\$ 51.000,00	GASTOS

	básicos		
	arriendo segmento satelital, internet, pago de uso de frecuencias	\$ 850.000,00	

Nota: Tabla que se ilustra los tipos de costos y gastos en el sistema de comunicaciones de las FF.AA., Fuente: Grupo de Telecomunicaciones COMACO

2.4 Problemática

De acuerdo al análisis realizado, se puede apreciar que para un desempeño óptimo del COMACO, se requiere que su sistema de comunicaciones especialmente entre los enlaces de Quito y Guayaquil, brinde las facilidades para soportar de forma eficiente los servicios anteriormente descritos y de esta manera coadyuvar al COMACO en la toma de decisiones trascendentales relacionadas con la Seguridad Nacional y/o Soberanía Territorial.

Actualmente, las comunicaciones entre los repartos de Guayaquil y Quito del COMACO se basan actualmente en una red formada por enlaces microondas con tecnología PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) y SDH (Jerarquía Digital Síncrona). La tecnología PDH de estos enlaces, no soporta un sistema de redundancia y respaldo, lo cual es una gran limitación de la red actual. El problema del sistema PDH/SDH se da en las repetidoras debido a que existen problemas de energía en los cerros donde se encuentran ubicadas dichas antenas, además, las cambiantes condiciones climáticas son otro factor que ocasiona problemas de transmisión debido a la inserción de interferencias.

Entre otros y de forma general los problemas más importantes detectados son;

1. Ancho de banda limitado de los enlaces microondas,
2. Escaso espacio disponible en las torres y en las estaciones lo que dificulta la instalación de nuevos equipos,
3. El aseguramiento de una correcta línea de vista entre los puntos de radio no siempre resulta en una tarea fácil de realizar.

4. Existen pérdidas de transmisión frecuentes ocasionadas por los cambios de clima, lo que provoca problemas en aquellos servicios de tiempo real (videoconferencias, televigilancia) lo que conlleva a necesitar una red con altos índices de aceptación y confidencialidad.
5. Los radios IP de la última milla son susceptibles a las descargas eléctricas las cuales afectan directamente a estos equipos externos (outdoor), lo cual ha provocado que en varias ocasiones se tenga que reemplazar las tarjetas afectadas.

2.5 Análisis de requerimientos

Debido a la problemática detectada, la red MODE del COMACO requiere ser actualizada a fin de proveer un sistema fiable que permita ofrecer a sus usuarios un mejor y mayor número servicios de telecomunicaciones.

Estos problemas han afectado al desenvolvimiento normal de las actividades de las FF.AA; adicionalmente el crecimiento en la demanda de tráfico así como los requerimientos que surgen a diario en su sistema de comunicaciones, advierten la necesidad de una solución tecnológica que soporte varios requerimientos como:

1. **Control de armas:** estará centralizado en el Ministerio de Defensa Nacional y se piensa implementarlo en las distintas unidades militares que son designadas para esta función (bodegas de material bélico), aplicando mecanismos de seguridad en tiempo real como cámaras de video (Televigilancia) y la transmisión de alarmas para mejorar el monitoreo en los puntos de control.
2. **Video conferencia:** no solamente reducirá el costo de traslado, alimentación, hospedaje, entre otros del personal involucrado para las distintas reuniones que mantienen las FF.AA a nivel nacional, sino que también reducirá el tiempo del cual se debe disponer para la toma de decisiones rápidas; además de otras características como el permitir interacción visual, auditiva, verbal y de documentos (archivos) con personas ubicadas en lugares geográficamente distantes en el país o en las diferentes agregadurías del exterior. El sistema MODE presenta diferentes medios de transporte de la señal, por tal motivo

los equipos que proveen videoconferencia deben soportar el estándar de señalización H.323 que facilita la integración de las comunicaciones sobre diferentes medios de transporte.

3. **Internet:** permitirá satisfacer las múltiples necesidades de información y comunicación de las distintas Unidades de FF.AA, por tal motivo se requiere el contratar una capacidad determinada en un punto principal y poder distribuirlo a nivel nacional a través de su propia red ofrecerá varias ventajas como el obtener un servicio rápido, eficiente que cubra las necesidades operativas y profesionales de la institución.

4. **Intercomunicación con otros organismos estatales:** permitirá la utilización de la red por otras instituciones estatales como Bancos (Banco del Estado), Corporación Aduanera Ecuatoriana o el proyecto de una emisora de radio a nivel nacional de Fuerzas Armadas, en el área de educación con la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE , Dirección de Movilización, entre otros.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED

3.1 Metodología

Después de revisar las diferentes metodologías que existen para el diseño de proyectos tecnológicos se optó por la metodología Top-Down porque esta es una estrategia que actualmente permite procesar la información existente de una situación y aplicar los conocimientos de forma sistémica. Es una metodología muy madura que es empleada de diferentes maneras y en diferentes áreas como por ejemplo: diseño de circuitos, desarrollo de productos, y de software, básicamente se basa en la distribución de todo el trabajo que se pretende realizar estableciendo jerarquías desde la más importante hasta la de menor importancia, haciendo subdivisiones si es necesario.

De acuerdo a lo que nos ofrece la metodología indicada, los pasos a considerar como parte del presente proyecto son:

1. Planificación
2. Definir la alternativa más adecuada para el tendido del cable de fibra
3. Seleccionar la ruta que atravesara la fibra óptica
4. Seleccionar el tipo de cable de fibra óptica que se utilizara de las recomendaciones existentes
5. Realizar los cálculos presentes en un enlace de fibra óptica
6. Realizar las simulaciones con ayuda del software Optsim
7. Definir los equipos que se utilizaran
8. Realizar el análisis de factibilidad

3.2 Diseño físico

La oficina principal del COMACO se encuentra ubicada en la ciudad de QUITO, específicamente en las instalaciones del Ministerio de Defensa Nacional en la calle La Exposición 208 sector de La Recoleta.

Por otra parte, la estación base en Guayaquil se encuentra ubicada en la Base Naval Sur en las calles Avenida 25 de Julio y Cacique Tomalá, donde se encuentran las instalaciones del CAE (Centro de Apoyo Electrónico) conocida así en el sistema de comunicaciones en las FF.AA.

Selección de la ruta y análisis del tipo de cable a utilizar

Para el diseño del enlace existen alternativas para el tendido del cable de fibra óptica:

1. Tendido aéreo
2. Línea férrea
3. Tendido vial

De estas opciones se han descartado las dos primeras debido principalmente a que el tendido aéreo es considerado un punto muy vulnerable durante un posible conflicto nacional o internacional, y el de la línea férrea debido a que varios tramos a nivel nacional han quedado sin el servicio de mantenimiento por mucho tiempo y ello dificultaría mantener su operatividad. Finalmente, se ha seleccionado el tendido vial como trayecto debido a que actualmente el país cuenta con una infraestructura vial en óptimas condiciones.

Considerando que el enlace de fibra óptica requerido en el proyecto es de larga distancia y utiliza una multiplexación DWDM, se ha considerado adecuada la utilización de un cable monomodo que cumpla con la recomendación G.655. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), las principales fibras monomodo son:

1. **G.652 (C y D):** Utilizadas como fibra estándar en Telecom y para transmisión Ethernet a Gigabit y 10 Gigabit. La denominación OS1 es cubierta por las fibras tipo de G652a, b c y d. La fibra tipo OS2 (desde 2006)

fija características para las longitudes de onda 1310 nm 1550 nm y 1383 nm (fibras de bajo pico de agua, válidas para CWDM). Asimismo, la fibra OS2 es de aplicación como f.o. SM para aplicaciones de larga distancia. (Radioenlace, Radioenlace Tipos de fibra optica Monomodo y Multimodo, 2014)

2. **G.655:** Fibra con dispersión desplazada no nula. Optimizada para aplicaciones de larga distancia a 1550 nm. Sus características se fijan a 1550 nm y 1625 nm, por lo que puede ser utilizada para multiplexación DWDM entre estas λ . (Radioenlace, Radioenlace Tipos de fibra optica Monomodo y Multimodo, 2014)
3. **G-656:** Fibra con dispersión desplazada no nula. Optimizada para aplicaciones de banda ancha. Sus características se fijan entre 1460 nm y 1625 nm, estando especialmente indicada para multiplexación CWDM y DWDM en ese ámbito de λ . (Radioenlace, Radioenlace Tipos de fibra optica Monomodo y Multimodo, 2014)
4. **G.657:** Fibra óptica con características especiales para su aplicación en FTTx (alta resistencia a la humedad y a las macrocurvaturas), permite la transmisión a 1310, 1490 y 1550 nm. (Radioenlace, Radioenlace Tipos de fibra optica Monomodo y Multimodo, 2014)

En el Anexo 1 se detallan las especificaciones de la recomendación UIT-T G.655.

En cuanto a las rutas seleccionadas para el diseño de la red se han considerado 2 alternativas, cada una de ellas tendrá que pasar en su gran mayoría por la región sierra debido a que por este trayecto la red MODE posee mayor cantidad de tráfico.

Primera alternativa: El diseño de la red por esta ruta atraviesa las ciudades de Guayaquil, Pallatanga, Riobamba, Machachi y Quito como se muestra en la figura 11.

Mapa del tramo Quito - Guayaquil.

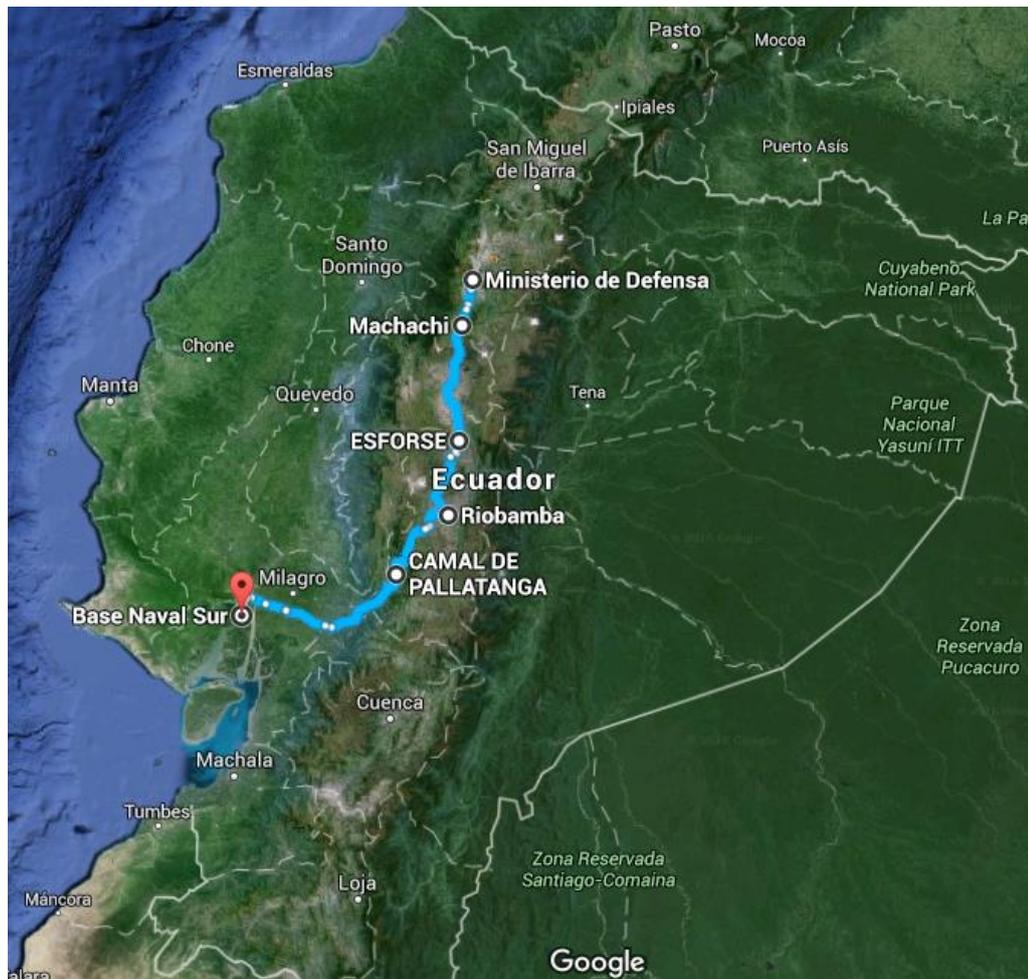


Figura 11. Mapa del trayecto Guayaquil Quito primera alternativa.
Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Segunda alternativa: Esta alternativa cruza las siguientes ciudades: Guayaquil, Machala, Cuenca, El Tambo, Riobamba, Ambato, Machachi y Quito, como se muestra en la figura 12.

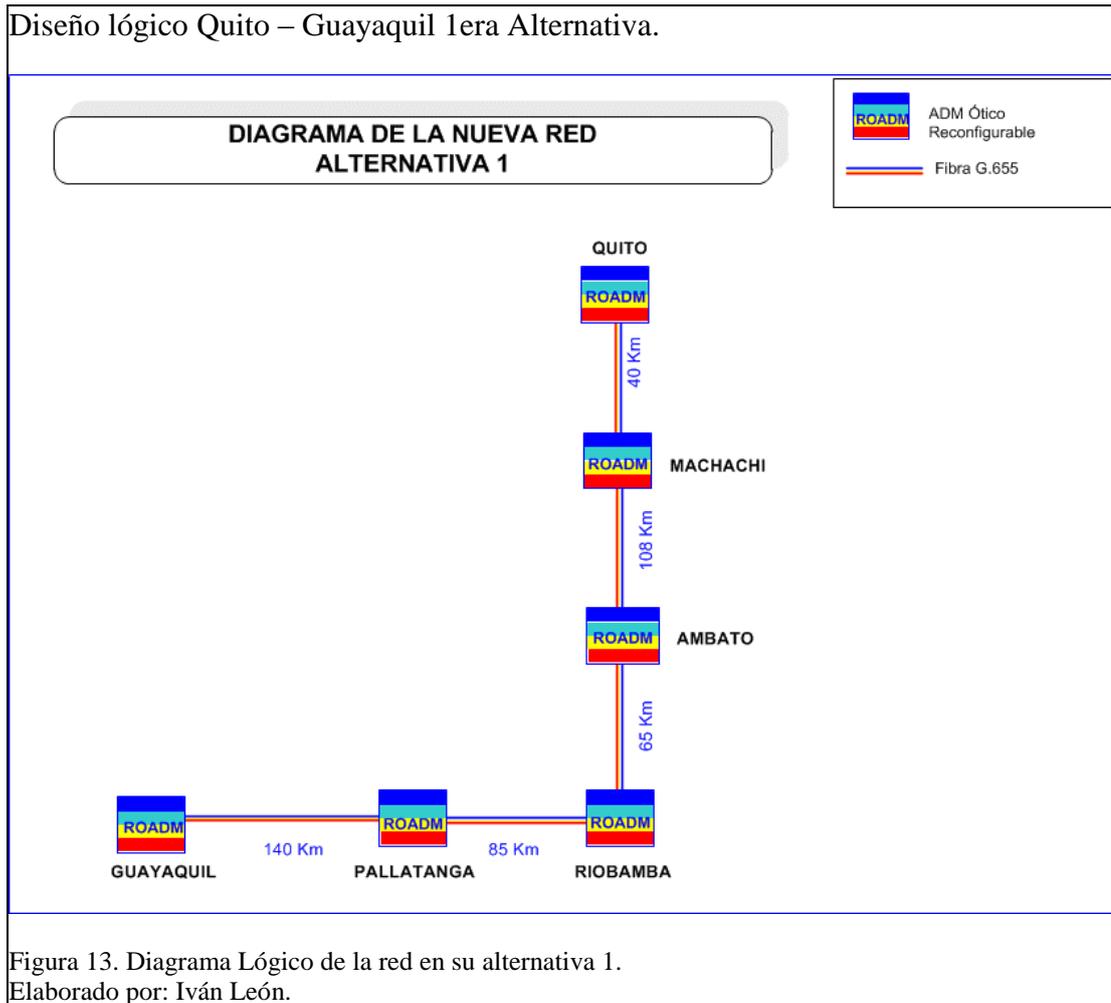
Mapa de la segunda Alternativa Quito – Guayaquil.



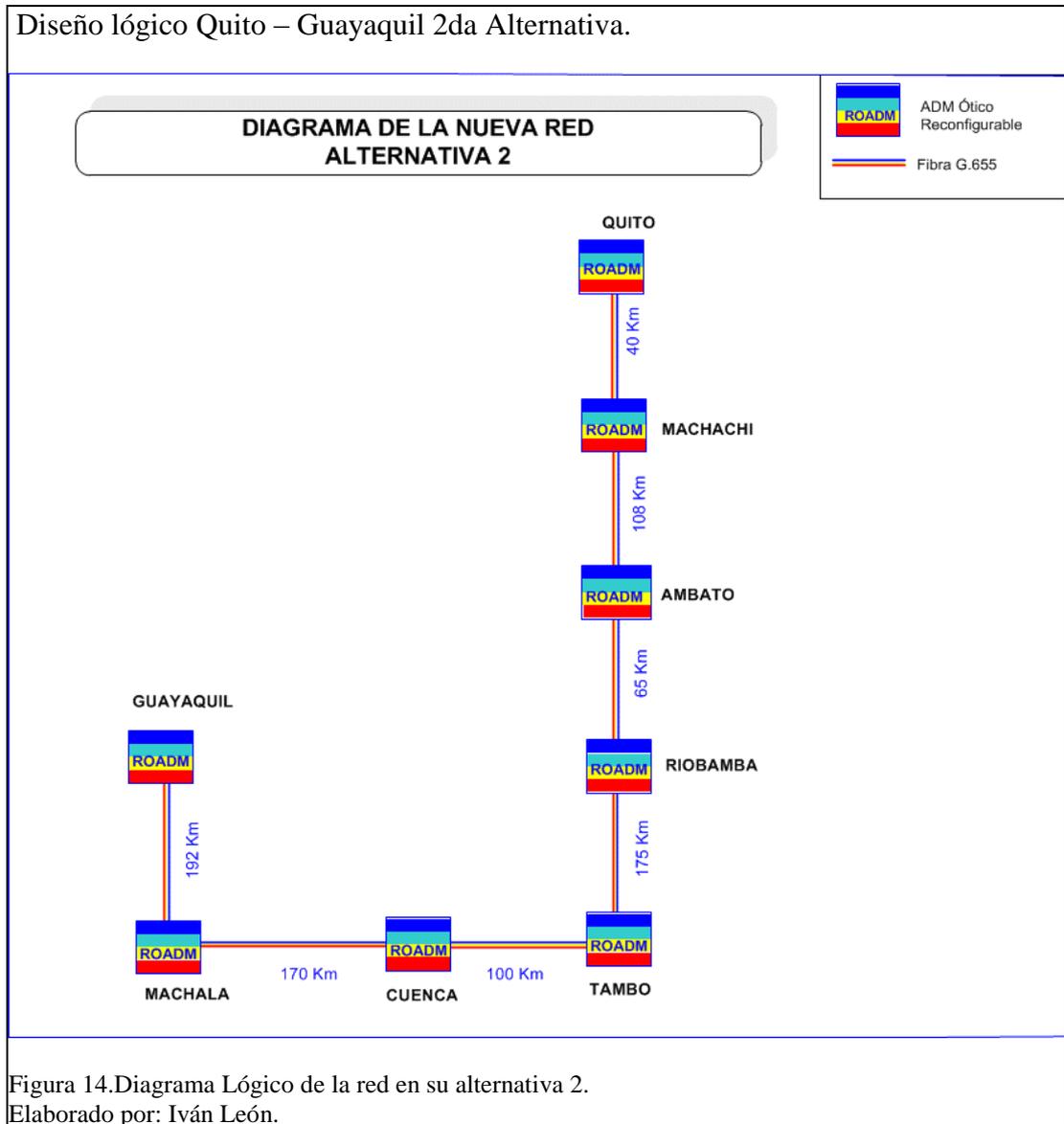
Figura 12. Mapa del Ecuador del trayecto Guayaquil Quito en su segunda alternativa.
Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

3.3 Diseño lógico

El diseño lógico pone a consideración los diferentes elementos que se utilizará en la red como lo indica la figura 13 la cual consta de los dispositivos ROADM a utilizar en la transmisión y recepción con sus respectivas distancias, en la primera alternativa se consideraron 5 tramos para todo el trayecto.



La figura 14 hace referencia a la segunda alternativa la cual consta de 7 tramos para el presente proyecto.



3.4 Fórmulas y cálculos

Para garantizar que un enlace de fibra óptica se encuentre correctamente dimensionado se deben cumplir con todos los parámetros que influyen en la atenuación total del enlace, en otras palabras se tiene que realizar los cálculos de las pérdidas para determinar la necesidad de regeneración de la señal. Los parámetros que influyen en la atenuación total de un enlace de fibra óptica se presentan en la ecuación 3.1.

$$P_T - 2a_c - aD - a_e N_e - M_C - M_e \geq P_R \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Dónde:

P_T = potencia máxima de transmisión del láser en (dBm).

a_c = atenuación debido al conector con el interfaz óptico (dB).

a_e = atenuación debido a empalmes (dB).

a = atenuación debido a la longitud de la fibra óptica (dB/Km).

N_e = número de empalmes.

M_C =margen de seguridad del cable (dB).

M_e = margen del interfaz óptico de transmisión (dB).

P_R = potencia de recepción mínima (dBm).

Para el número de empalmes N_e se toma en cuenta la distancia total del trayecto D (Distancia de nodo a nodo) dividido para la longitud máxima del carrete de fibra óptica del fabricante.

$$N_e = \frac{D}{\text{longitud maxima del carrete}} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

El Margen de seguridad del cable M_C se establece al considerar que durante toda la vida útil del cable de fibra óptica presentará una rotura a posibles intervalos de un 50% del trayecto D por lo que quedaría la ecuación:

$$M_C = \frac{D}{50} (dB) \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Para el cálculo del ancho de banda (AB) se lo obtiene de la ecuación 3.4.

$$AB = \frac{0.44}{D_{max}(W_C)(\Delta\lambda)} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Dónde:

D_{max} = distancia máxima del enlace (Km).

(W_c) = dispersión cromática de la fibra óptica (ps/nm.km).

$(\Delta\lambda)$ = ancho espectral del láser (nm).

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y SIMULACIONES

Las pruebas y simulaciones se las realizó mediante software OptSim de la empresa Synopsys, en el cual se insertaron los valores y características de la fibra según la recomendación G.655 de la UIT-T. OptSim™ es una herramienta construida para el diseño y simulación de sistemas de comunicaciones ópticas a nivel de propagación de la señal, con una interfaz gráfica de usuario fácil de usar e instrumentos de medición de laboratorio similar, OptSim proporciona una precisión inigualable y facilidad de uso. El software ha estado disponible comercialmente desde 1998 y se usa ampliamente en organizaciones académicas e industriales en todo el mundo.

Beneficios:

Algunos de los beneficios de OptSim son;

1. Permite la creación de prototipos virtuales de sistemas de comunicación óptica para aumentar la productividad y reducir el tiempo de comercialización.
2. Puede ser usada para lograr optimización del diseño para mejorar el rendimiento y reducir los costos.
3. Posee interfaces con herramientas de terceros, tales como MATLAB®.
4. Permite el modelado avanzado con motor eléctrico incorporado SPICE.

Aplicaciones:

OptSim es ideal para el diseño asistido por ordenador de los sistemas de comunicación óptica, y puede ser usado para:

1. Sistemas de comunicaciones ópticas coherentes, tales como PM-QPSK, BPSK-PM, PM-QAM, OFDM
2. Formatos de modulación avanzados, tales como D (Q) PSK, duobinaria, BPSK, m-PAM, M-QAM, etc.

3. Sistema de DWDM/CWDM con amplificación óptica, tal como EDFA, Raman, SOA, OPA
4. FTTx/PON, incluyendo BPON, G(E)PON, WDM-PON, PON coherente, RSOA-PON basado bidireccional
5. Sistemas analógicos y digitales de televisión por cable, radio sobre fibra, y enlaces de microondas fotónicos
6. Sistemas de Acceso Múltiple por División de Código Óptico(OCDMA)/ sistemas de multiplicación en el dominio del tiempo óptico (OTDM)
7. Técnicas de Compensación de la dispersión electrónica (EDC)
8. Comunicaciones Ópticas de espacio libre (FSO). (Synopsys®)

Entorno gráfico del Software de Simulación OPTSIM.

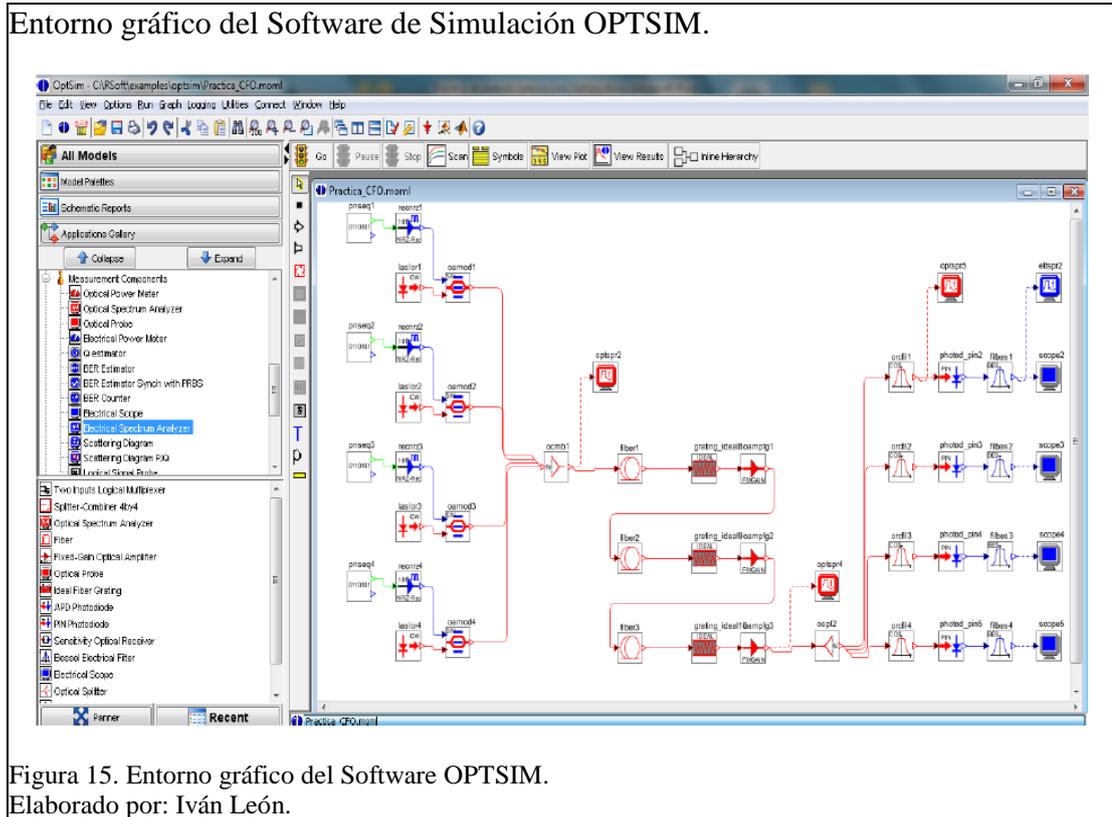


Figura 15. Entorno gráfico del Software OPTSIM.
Elaborado por: Iván León.

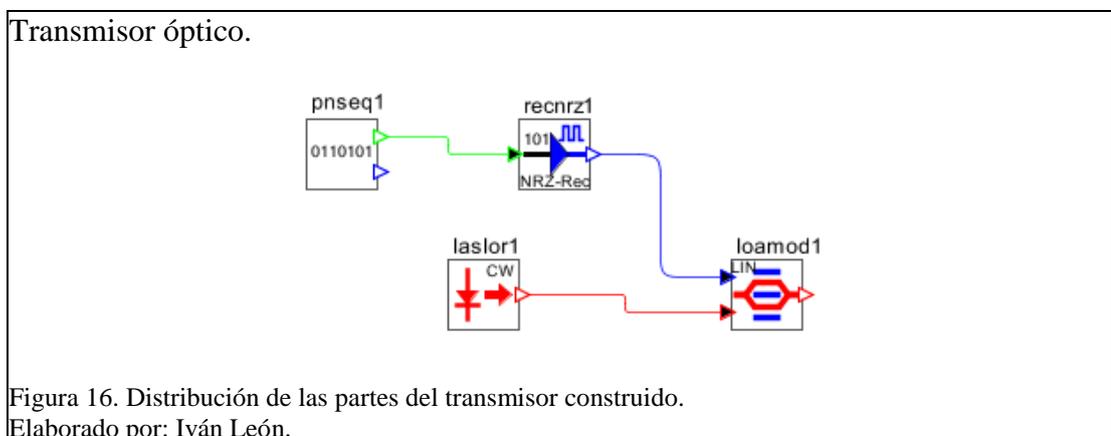
Como valores de referencia para las simulaciones se han seleccionado los siguientes:

Según lo establecido por la ITU-T, para canales ópticos el BER están entre 10^{-9} y 10^{-12} y para redes DWDM se estima como aceptable un BER de 10^{-15} . (UIT-T, Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos, 2006)

Para la configuración de las características de los enlaces se especificó un valor de atenuación de 0.275 dB/km, el coeficiente de dispersión de 3.7 (ps/nm·km) y en el cálculo de la compensación utilizada en cada tramo se lo determinó mediante la multiplicación de la longitud de cada tramo de fibra y el valor de Dmax cuyo valor es 5.8 (ps/nm·km) que son los valores típicos en este tipo de fibra los cuales se los puede apreciar en el anexo 1.

4.1 Transmisor óptico modulado externamente

La construcción de un transmisor óptico con ayuda del simulador debe incluir entre otros un láser, un modulador, una fuente de datos y el driver del modulador como se observa en la figura 16, Para que el transmisor este completo se debe interconectar los dispositivos que se encuentran en el diagrama esquemático de esta manera: la fuente de datos con driver del modulador (conexión lógica = enlace verde), el láser con modulador (conexión óptica = enlace rojo) y driver con modulador (conexión eléctrica = enlace azul), otra manera de realizar la conexión es enlazar directamente la fuente de datos con el modulador externo, sin embargo esto no es común en la práctica debido a que se genera mucho ruido.



En la figura 17 se puede observar la forma del diagrama del ojo en el transmisor, como todavía no se ha transmitido nada, el diagrama que se presenta es prácticamente perfecto, es decir los bits se encuentran distribuidos de igual manera y sin ninguna distorsión llegando hasta una amplitud máxima de 5.

Diagrama del ojo en el Transmisor óptico.

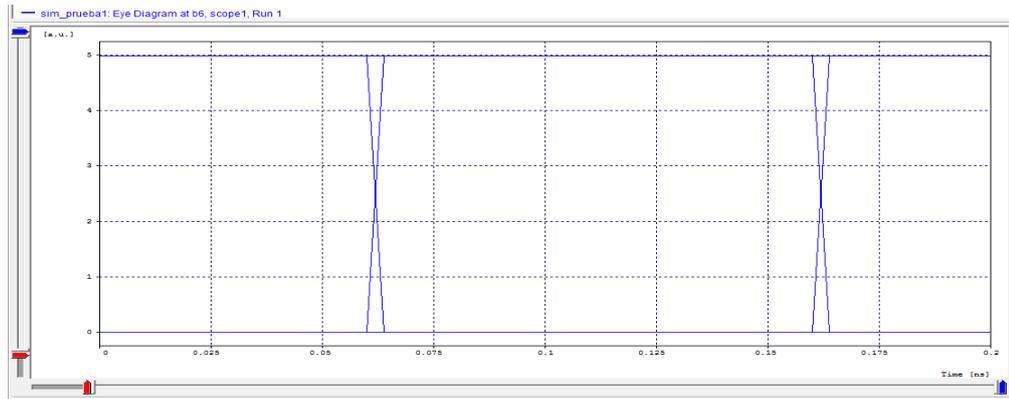


Figura 17. Diagrama del ojo del transmisor.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 18 se observa la señal eléctrica del transmisor, la cual permanece constante en el tiempo con un valor de 5 dB que corresponde a las propiedades configuradas en el driver del modulador NRZ y no varía debido a que aún no se transmite nada por la fibra óptica.

Señal eléctrica en el Transmisor óptico.

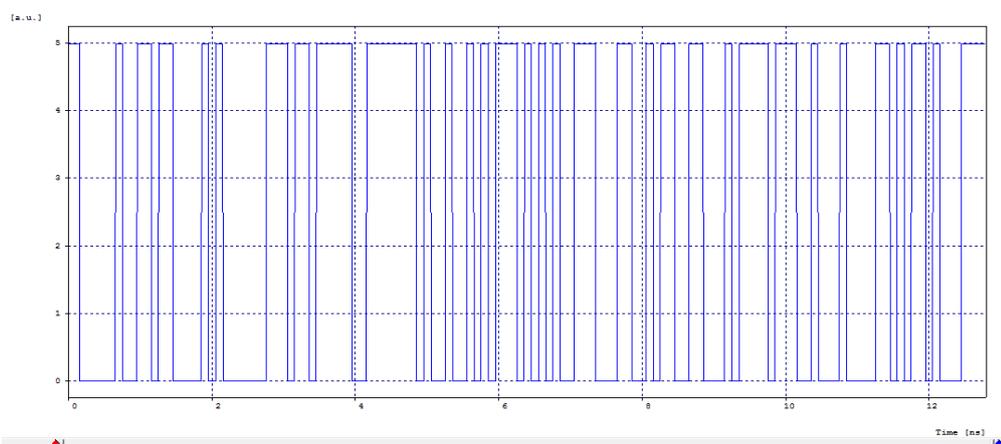


Figura 18. Señal eléctrica emitida por el transmisor.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 19 se presenta el espectro eléctrico de un canal conocido también como señal sampling. En esta señal se observa que a mayor frecuencia disminuyen los dB debido a la modulación NRZ, la cual es el esquema más sencillo ya que se codifica un nivel de tensión como un 1 y una ausencia de tensión como un 0, del cual se puede aprovechar de mejor manera el ancho de banda.

Espectro eléctrico en el Transmisor óptico.

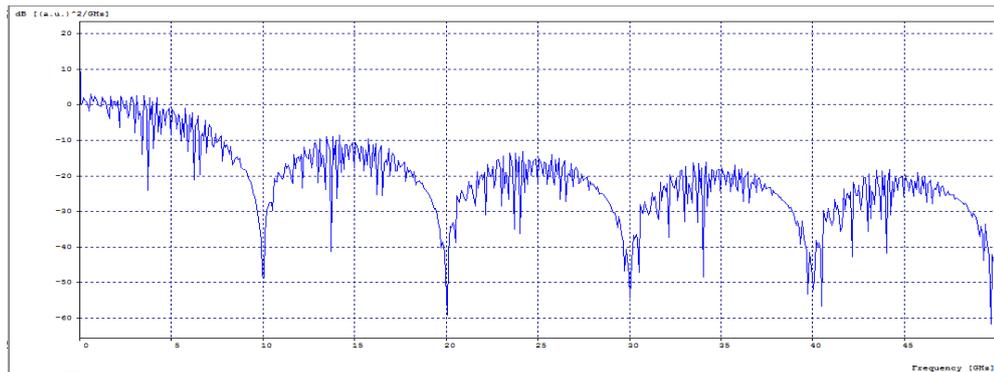


Figura 19. Señal del espectro eléctrico emitido en el transmisor.
Elaborado por: Iván León.

Transmisor óptico con las 4 señales (4 longitudes de ondas).

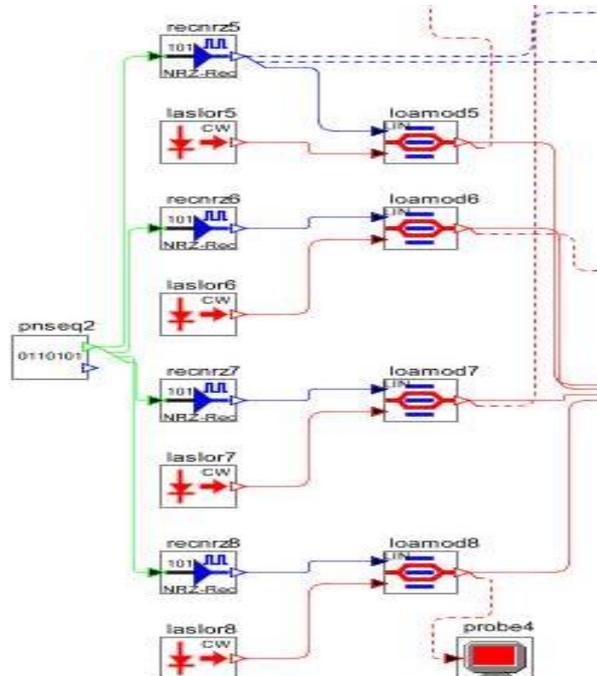
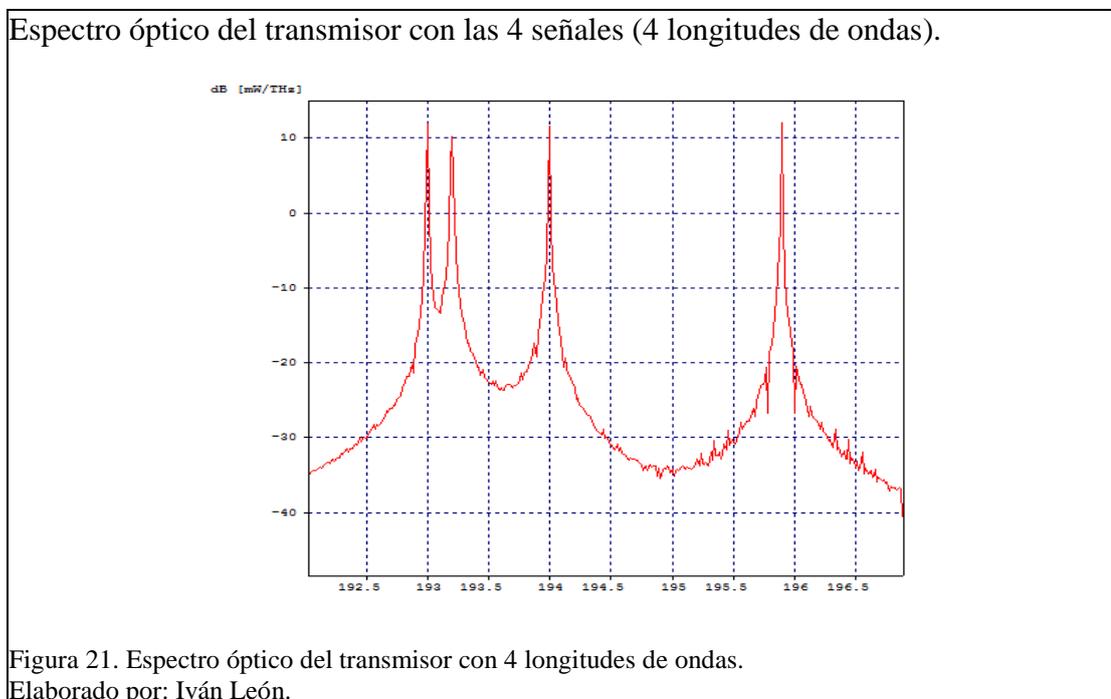


Figura 20. Transmisor con 4 longitudes de ondas.
Elaborado por: Iván León.

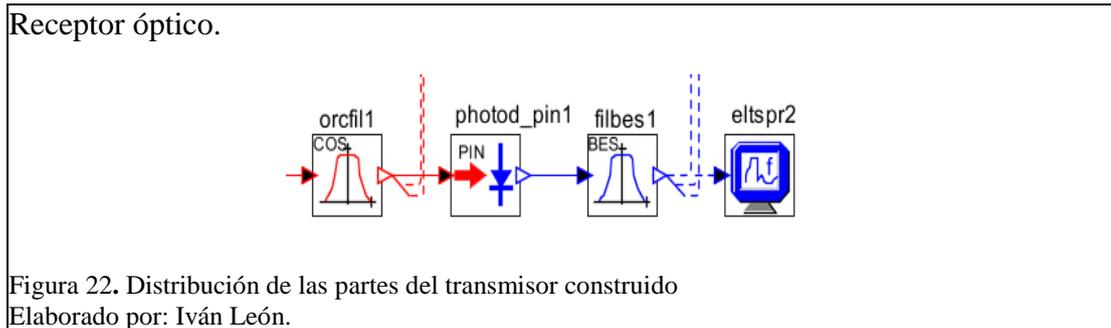
En la figura 20 se observa la construcción del transmisor óptico con sus 4 señales que trabajarán a 4 longitudes de ondas diferentes. Cada longitud de onda representará un canal que estará destinado a un servicio en específico, para este transmisor se usarán 4 emisores láser con un modulador por cada uno que estarán conectados a un multiplexor para evitar interferencias entre los canales.

La curva de color rojo mostrada en la figura 21 representa el espectro óptico del transmisor, que consta de 4 canales que serán utilizados para cuatro servicios y/o aplicaciones en específico. Se han escogido 4 longitudes de ondas de un total de 100 que permite la tecnología DWDM de acuerdo a los Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda y el Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa correspondiente a la recomendación de ITU-T G.694.1. Para el presente proyecto se han escogido longitudes de ondas solo de la tercera ventana debido a las características de la fibra que posee menor cantidad de dispersión cromática en dicha ventana y a los equipos que se proponen como solución que también trabajan en dicha ventana. Las frecuencias nominales centrales (THz) para separaciones de 100 GHz fueron: 195.9; 194.0; 193.2 y 193.0 THz.

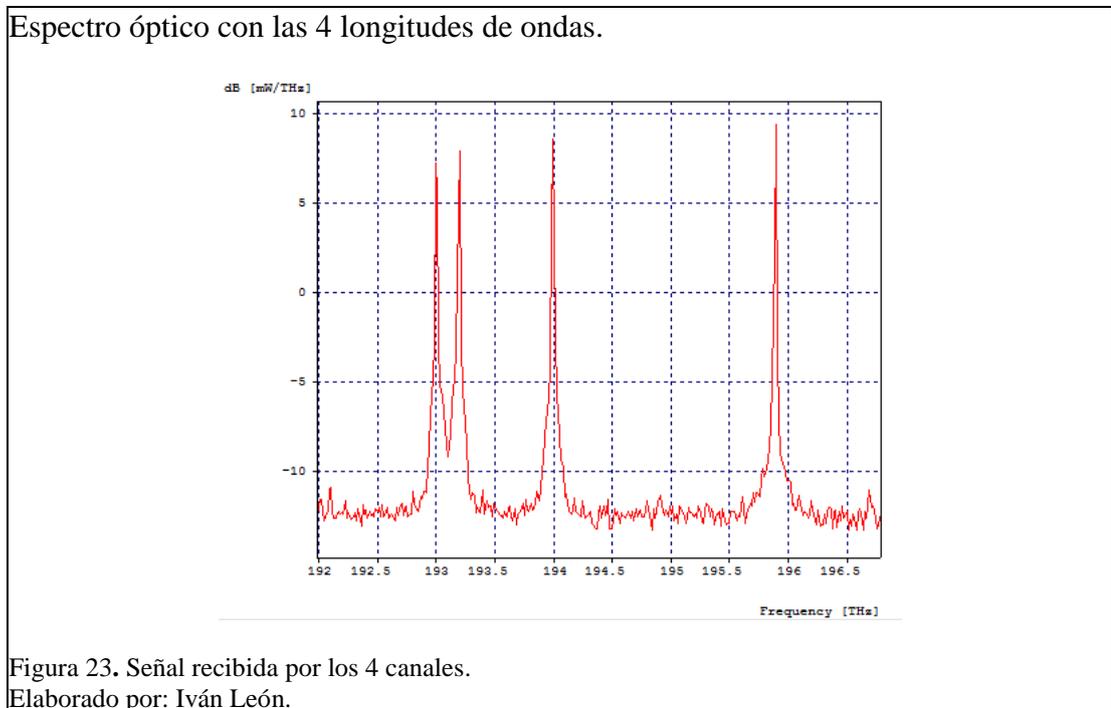


4.2 Receptor óptico

En la figura 22 se puede observar un receptor óptico que está formado por un filtro óptico y un eléctrico. El filtro óptico tiene la función de permitir el paso solo de la parte deseada de toda la señal óptica lo cual corresponderá a un canal en específico, y el filtro eléctrico es para obtener los bits eléctricos del canal en específico los cuales serán enviados al dispositivo final y gestionados en los diferentes CAE.



En la figura 23 se aprecia el espectro óptico de un receptor de 4 canales que se están transmitiendo respectivamente, los cuales serán recibidos y gestionados en el dispositivo final ubicado en los diferentes CAE.



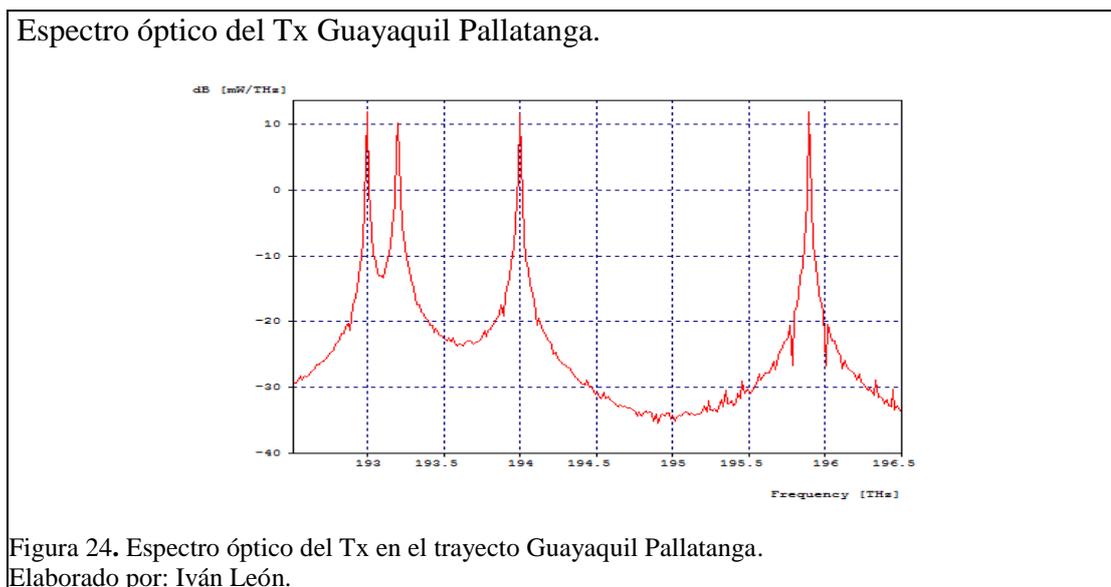
4.3 Simulación primera alternativa

En esta ruta la simulación se realizó por tramos debido a que de esta manera se puede verificar la efectividad y los errores de transmisión en los puntos intermedios en los que se ubicarán los equipos Optical Add Drop Multiplexer (OADM) que se usarán para gestionar la información en las ciudades donde existen repartos militares a cargo del COMACO.

4.3.1 Tramo: Guayaquil-Pallatanga

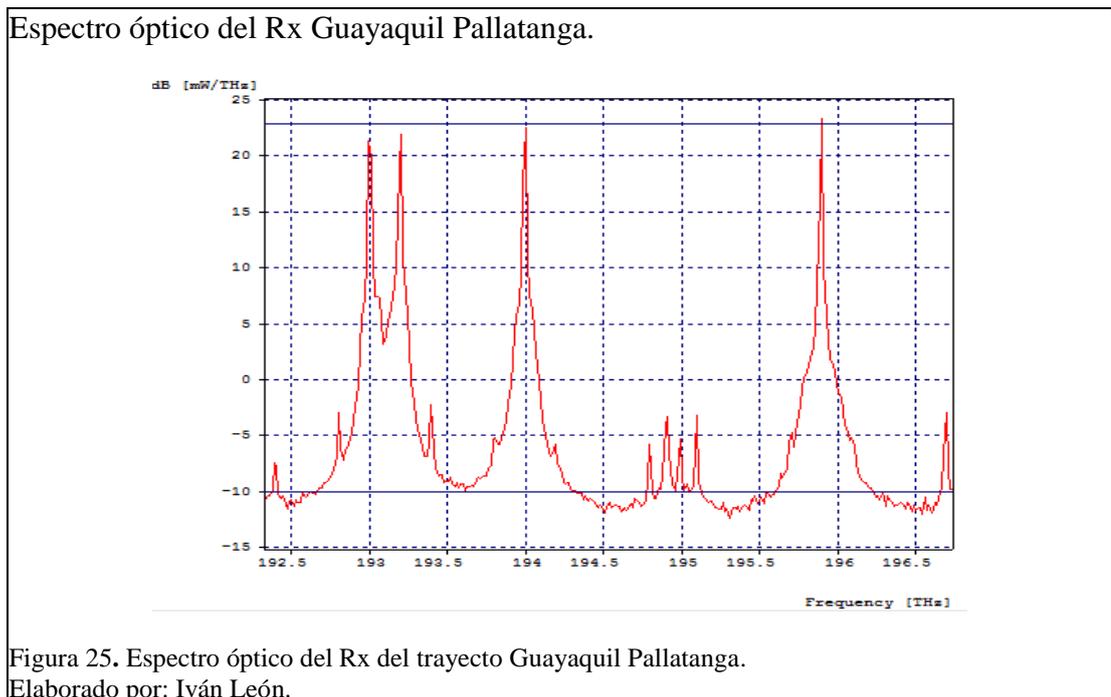
Este trayecto se explica en el anexo 4, que va desde la sierra por la vía E487 hasta llegar a la provincia del Guayas donde se toma la ruta E40 hasta llegar a la avenida 25 de Julio donde se encuentra ubicada BASUR y el CAE Guayaquil. Para este tramo se consideró una distancia de 140 Km.

El diagrama de prueba diseñado en el software para el primer trayecto desde Guayaquil a Pallatanga se lo puede apreciar en el anexo 5. Se utiliza un transmisor que consta de 4 láser y 4 moduladores que representan 4 diferentes canales con sus 4 longitudes de ondas respectivamente, en el receptor se observa su espectro óptico, el BER y el diagrama del ojo con ayuda de los elementos de medición, también se puede observar los amplificadores ópticos que se encuentran ubicados antes y después de la fibra respectivamente.



En la figura 24 se observa el espectro óptico del transmisor ubicado en Guayaquil, cuya curva empieza en -30dB y va creciendo de manera cuadrática hasta llegar a un pico de 10 dB, se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor. La separación de sus canales es de 0.8nm para todas sus longitudes de ondas. Según las recomendaciones, de la tecnología se seleccionaron 4 longitudes de ondas que no estén demasiado próximas unas de otras para evitar interferencias.

Por otra parte, la figura 25 hace referencia al espectro óptico del receptor ubicado en Pallatanga, en el cual la separación de sus canales sigue siendo de 0.8nm, en cuanto a los picos siguen siendo a la misma frecuencia lo que quiere decir que está en la misma longitud de onda de origen en el transmisor pero empezando esta vez su curva desde -10 dB. A pesar de las pequeñas distorsiones que se deben al tramo de fibra óptica usada existe una adecuada comunicación.



Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Guayaquil - Pallatanga

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Guayaquil Pallatanga.

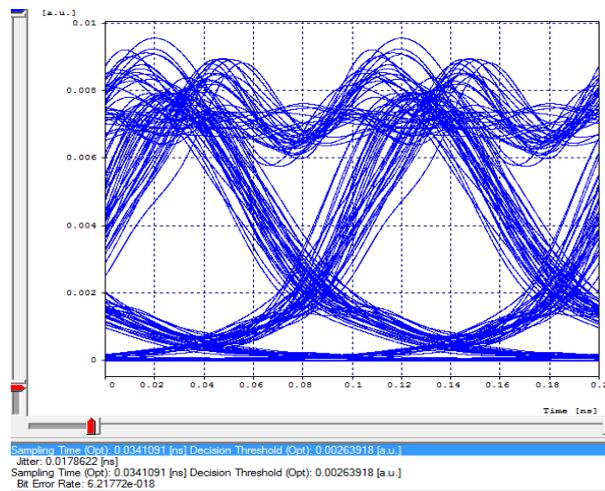


Figura 26. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 26 se puede observar el diagrama del ojo del primer canal el cual está a una frecuencia de 195.6 THz, en este diagrama la abertura del ojo es normal ya que posee un BER de 10^{-18} y un jitter de 0.0178622 ns lo cual se considera muy bueno para este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Guayaquil Pallatanga.

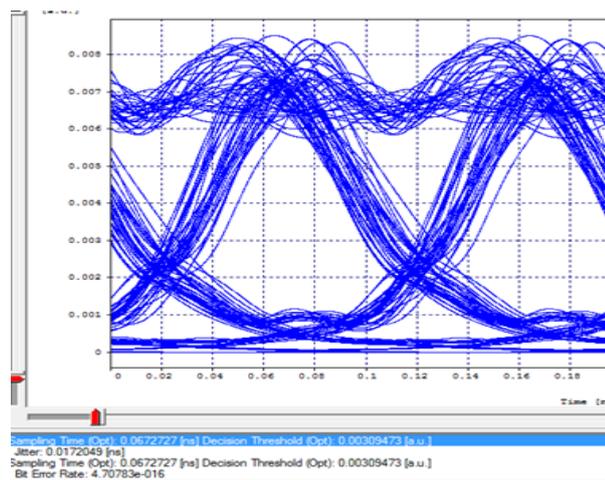


Figura 27. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 27 se observa el diagrama del ojo del segundo canal el cual está a una frecuencia de 194.0 THz, posee un BER de 10^{-16} y un jitter de 0.0172049 ns lo cual es muy bueno para comunicaciones ópticas de acuerdo a la UIT-T, en comparación con el primer canal este BER demuestra que el primer canal es más fiable.

En la figura 28 se puede observar el diagrama del ojo del tercer canal el cual tiene una frecuencia nominal de 193.2 THz, este diagrama posee la abertura del ojo más abierta con un BER de 10^{-10} y con un jitter de 0.0155216ns con estos valores esta comunicación es buena por estar dentro del rango referencial.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Guayaquil Pallatanga.

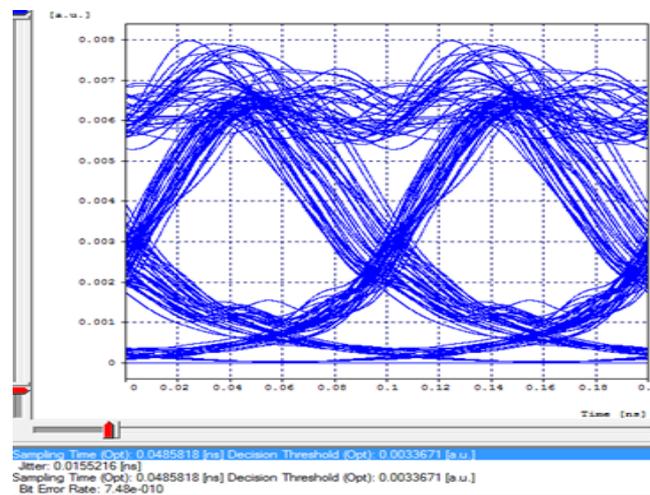


Figura 28. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Guayaquil Pallatanga.

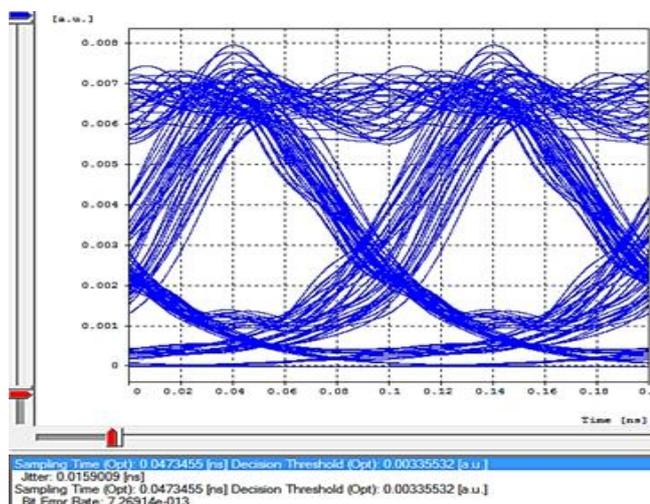


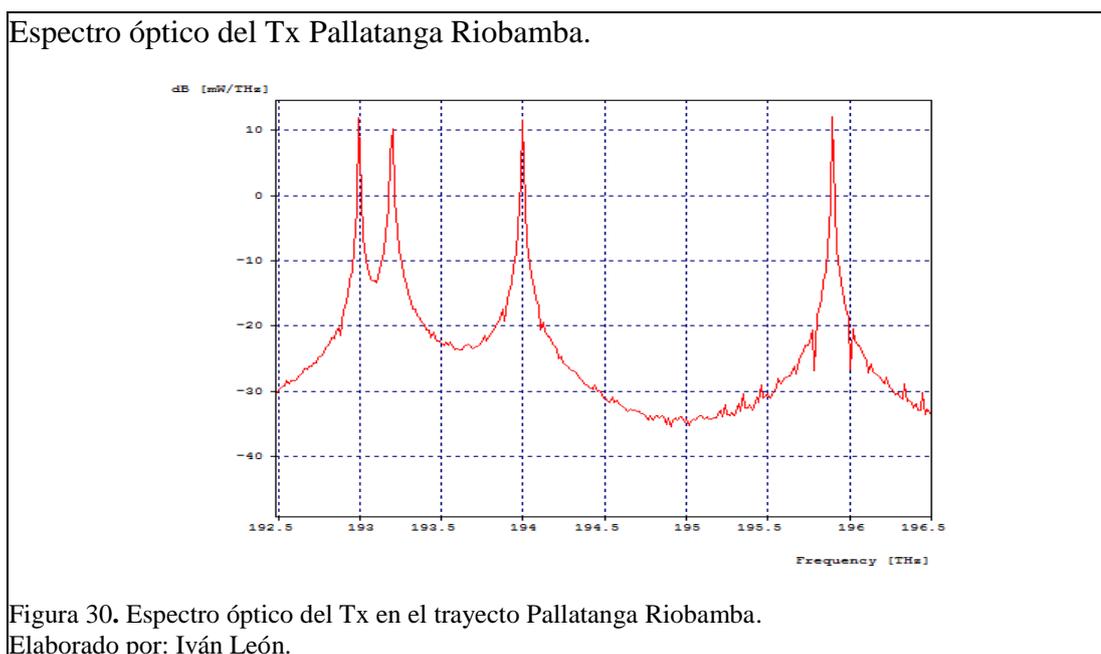
Figura 29. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Guayaquil Pallatanga. Elaborado por: Iván León.

La figura 29 corresponde al cuarto canal que posee una frecuencia nominal de 193.0 THz, y que posee un BER de 10^{-13} además de su jitter de 0.0159009 ns, de lo cual con este BER ingresa en el rango mencionado por la UIT-T.

4.3.2 Tramo: Pallatanga- Riobamba

En el anexo 6 se observa la ruta del trayecto Pallatanga - Riobamba, que pasara por la carretera panamericana (troncal de la sierra) y cubrirá una distancia entre estas ciudades de 85 Km y el diagrama técnico de este tramo se lo aprecia en el anexo 7.

En la figura 30 se observar la curva del espectro óptico del transmisor ubicado en Pallatanga, del cual su curva inicia en -30dB creciendo de manera cuadrática hasta un pico máximo de 10dB, y que se repite 4 veces debido a sus 4 canales presentes en esta transmisión con una separación entre canales de 0.8nm debido a este tipo de tecnología de los cuales se tomó solo cuatro longitudes de ondas.



La figura 31 nos indica la curva del espectro óptico del receptor ubicado en Riobamba, en el cual la separación de sus canales sigue manteniéndose, en cuanto a los picos conservan la misma frecuencia lo que quiere decir que se encuentran en las mismas longitudes de ondas de origen del transmisor pero en esta ocasión iniciando en 8dB, otro punto que se debe tomar en cuenta son esas pequeñas distorsiones

presentes cerca de los canales (a los costados) que se debe al tramo de fibra óptica usada pero gracias al filtro óptico que fue utilizando en el receptor se pierden y no llegan a ocasionar muchas pérdidas.

Espectro óptico del Rx Pallatanga Riobamba.

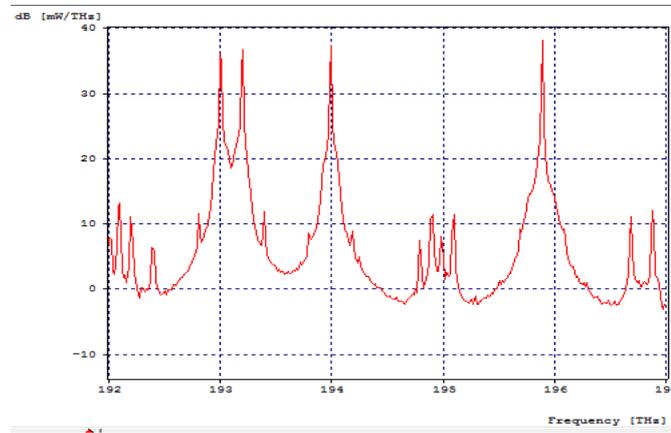


Figura 31. Espectro óptico del Rx en el trayecto Pallatanga Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Pallatanga - Riobamba

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Pallatanga Riobamba.

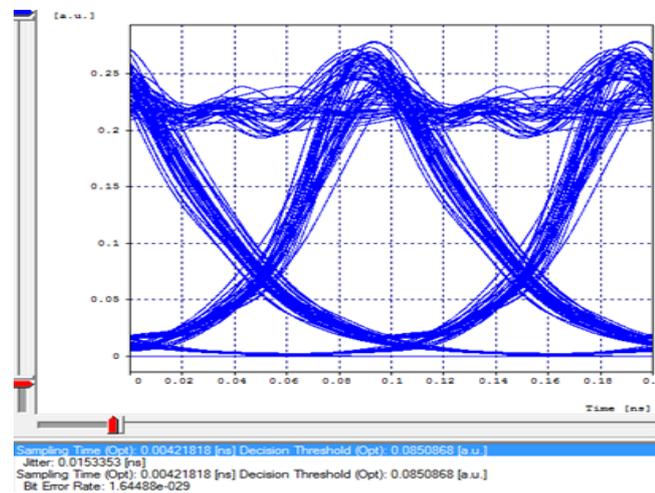


Figura 32. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

La figura 32 representa el diagrama del ojo del primer canal ubicado en la ciudad de Riobamba el cual está a una frecuencia nominal de 195.9 THz, este diagrama del ojo muestra pequeñas distorsiones en la parte superior del ojo, sin embargo de ello, la

recepción no se afecta considerablemente ya que tiene un BER de 10^{-29} lo cual representa un valor aceptable para las comunicaciones ópticas. Además se aprecia que este canal posee un jitter con un valor de 0.0153353 ns, que son valores aceptables para permitir una buena comunicación.

En la figura 33 se observa el diagrama del ojo del segundo canal el cual está ubicado a una frecuencia 194.0 THz, este diagrama del ojo refleja un BER de 10^{-27} que representa un canal menos fiable que el primero, también muestra un valor de jitter de 0.0181785 ns lo cual estos valores expresan que son excelentes en este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Pallatanga Riobamba.

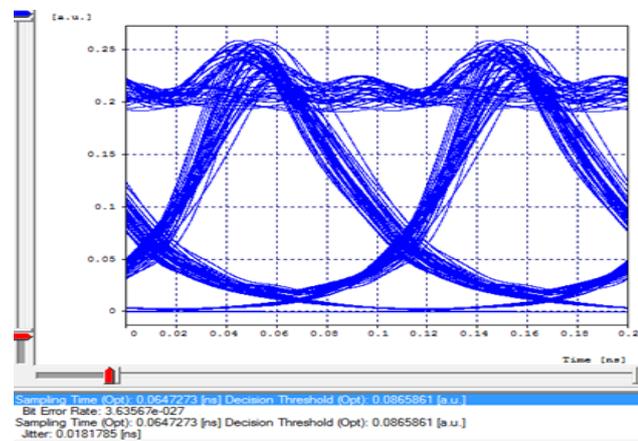


Figura 33. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Pallatanga Riobamba.

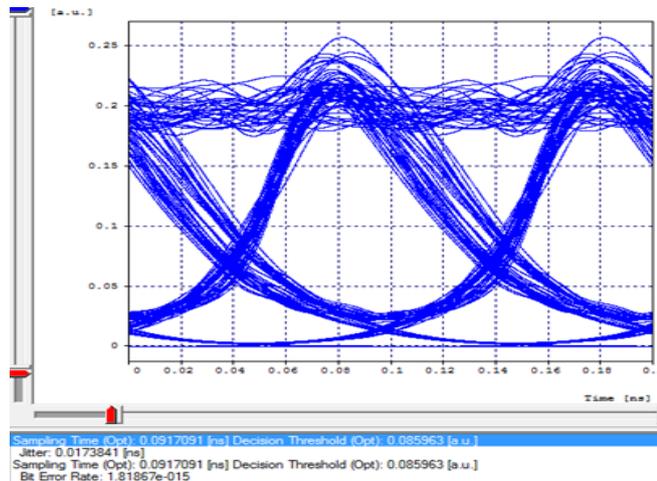
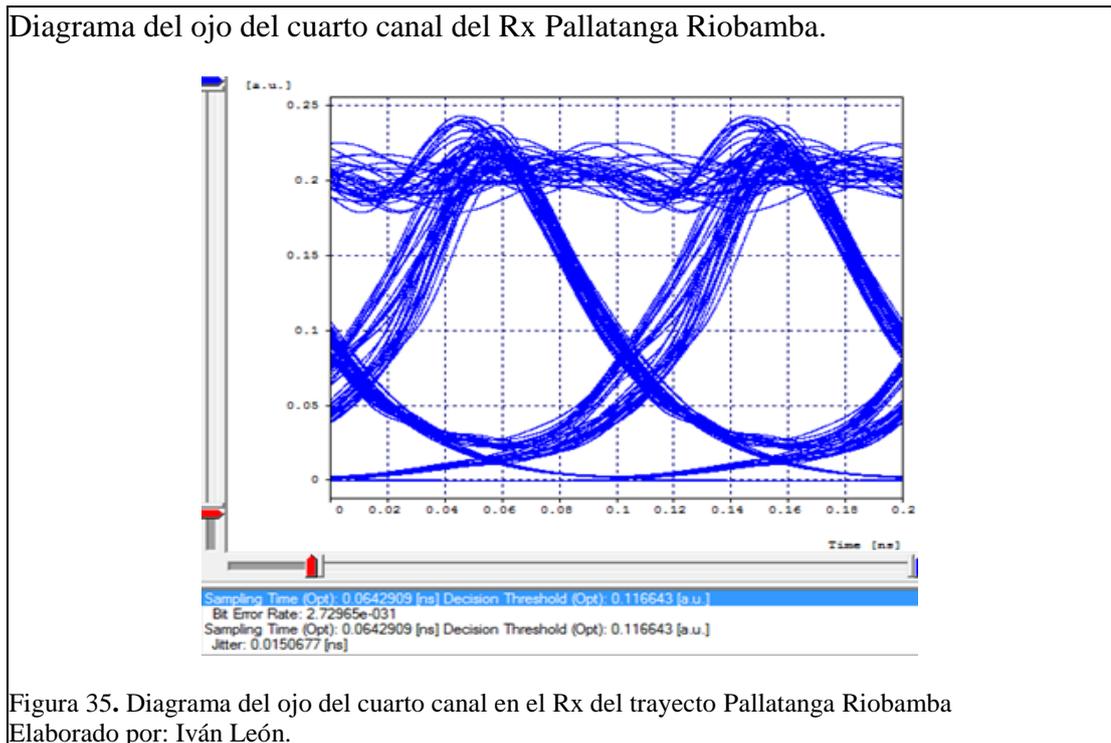


Figura 34. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Pallatanga Riobamba. Elaborado por: Iván León.

En la figura 34 se observa el diagrama del ojo del tercer canal el cual está a una frecuencia nominal de 193.2 THz, este diagrama del ojo posee un BER de 10^{-15} además posee un valor de un jitter de 0.0173841 ns, este valor del BER simboliza que en teoría el primer y segundo canal brindan casi el doble de fiabilidad que el tercer canal.



Por otra parte en la figura 35 se observa el diagrama del ojo del cuarto canal el cual está a una frecuencia de 193.0 THz con un BER de 10^{-31} y un jitter de 0.0150677 ns, al comparar los resultados de los canales en este tramo se determina la mayor fiabilidad en el cuarto canal debido a su valor del BER.

4.3.3 Tramo: Riobamba-Ambato

En el anexo 8 y 9 se observa el trayecto de Riobamba hacia Ambato así como también se presenta el diagrama esquemático del trayecto respectivamente, en esta última ciudad el enlace se termina en la Escuela de Formación de Soldados del Ejército (ESFORSE) debido a que ahí las FF.AA poseen un reparto donde puede gestionar la información además de brindar la seguridad necesaria de los equipos. La

ruta pasará por la carretera panamericana (troncal de la sierra) con una distancia entre estas ciudades de 65 Km.

En la figura 36 se simula el espectro óptico del transmisor ubicado en la ciudad de Riobamba, su curva está en toda la grilla de frecuencias de la tercera ventana a pesar de eso se puede apreciar que la mayor cantidad de espectro óptico se inicia y empieza a variar en aproximadamente el valor de -40 y -30 dB, creciendo de manera cuadrática hasta un pico máximo de 10 dB, se observa 4 veces porque representa los 4 canales que se han escogido para transmitirlos de todas las longitudes de ondas disponibles.

Espectro óptico del Tx Riobamba Ambato.

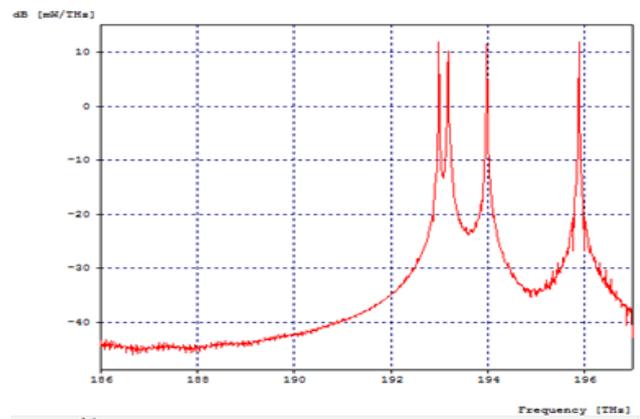


Figura 36. Espectro óptico del Tx en el trayecto Riobamba Ambato.
Elaborado por: Iván León.

Espectro óptico del Rx Riobamba Ambato.

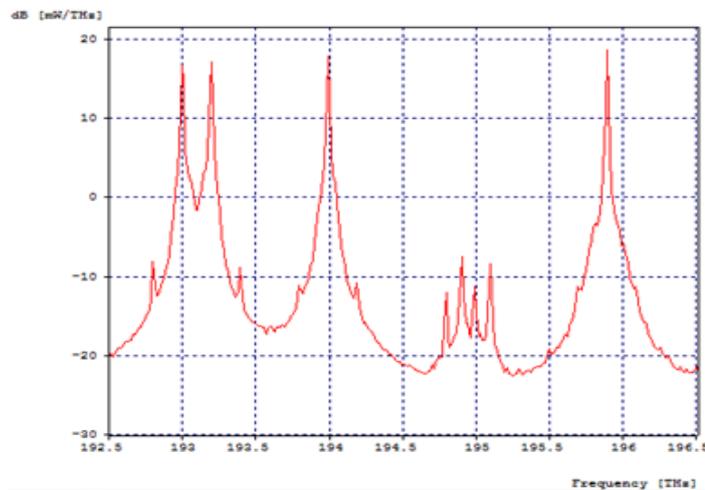


Figura 37. Espectro óptico del Rx en el trayecto Riobamba Ambato.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 37 se observa el espectro óptico del receptor en Ambato, en el cual su curva aproximadamente inicia en -20 dB hacia un pico máximo de 15dB en el cual valor de -20dB es la señal óptica que llegara al Rx, esta curva posee la misma amplitud que el transmisor pero tomando como nivel de referencia el -20, posee además unas pequeñas distorsiones y picos debido al tramo de fibra óptica usada en este trayecto los cuales representa el ruido en otros canales que en el presente proyecto no se optó, la separación de todos sus canales sigue siendo de 0.8nm.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Riobamba – Ambato

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Riobamba Ambato.

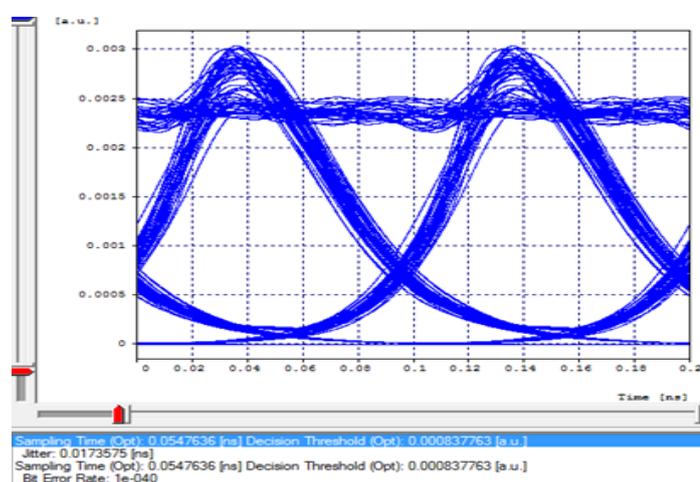


Figura 38. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato. Elaborado por: Iván León.

En la figura 38 se puede observar el diagrama del ojo del primer canal el cual está ubicado en Ambato a una frecuencia de 195.9 THz, este diagrama del ojo posee un BER de 10^{-40} lo cual se considera muy ideal para este tipo de comunicaciones ya que está por arriba de los niveles aceptados además posee un jitter de 0.0173575 ns.

La figura 39 se tiene el diagrama del ojo del segundo canal el cual está a una frecuencia 194.0 THz, es la de que este diagrama posee un BER de 10^{-37} parecido al BER de la anterior figura con la diferencia que con este valor del BER se dice que este sistema es tres veces menos confiable que el anterior, ambos son muy ideales

para la comunicación óptica, el segundo canal también tiene un jitter de 0.0173581 ns.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Riobamba Ambato.

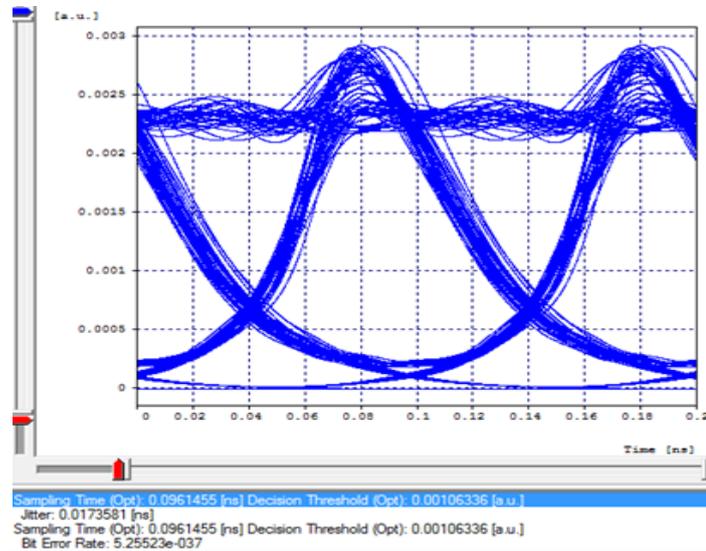


Figura 39. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.
Elaborado por: Iván León.

El diagrama del ojo de la figura 40 es del tercer canal de este trayecto, el cual está ubicado a una frecuencia nominal de 193.2 THz, se encuentra con un BER de 10^{-19} con un jitter de 0.0175257 ns.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Riobamba Ambato.

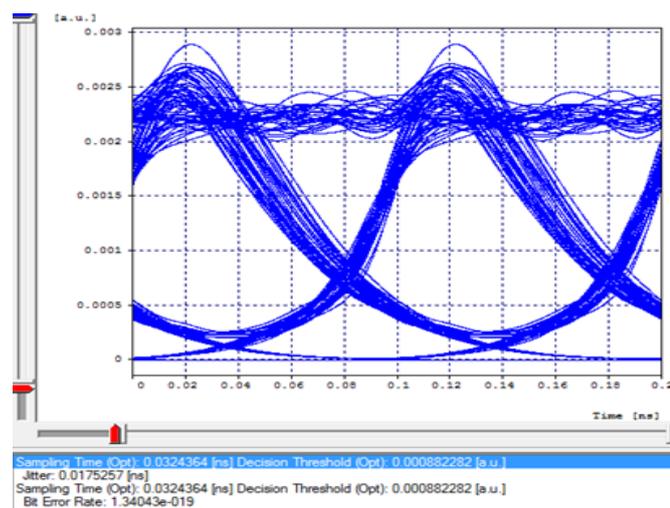


Figura 40. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 41 se encuentra el diagrama del ojo del cuarto canal el cual está a una frecuencia de 193.0 THz, este diagrama posee un BER 10^{-33} y un jitter de 0.0160106 ns.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Riobamba Ambato.

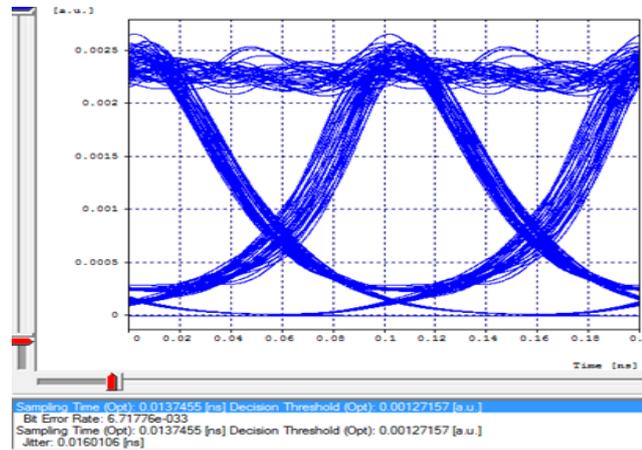


Figura 41. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Riobamba Ambato. Elaborado por: Iván León.

4.3.4 Tramo: Ambato-Machachi

El anexo 10 representa el trayecto desde Ambato a Machachi que parte desde la ESFORSE hasta el Fuerte Militar Atahualpa ubicado en la ciudad de Machachi, la ruta pasaría por la carretera panamericana (troncal de la sierra) con una distancia entre estas ciudades de 108 Km.

Espectro óptico del Tx Ambato Machachi.

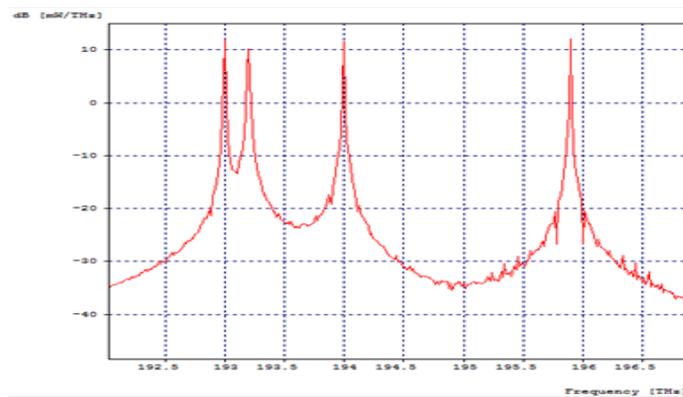
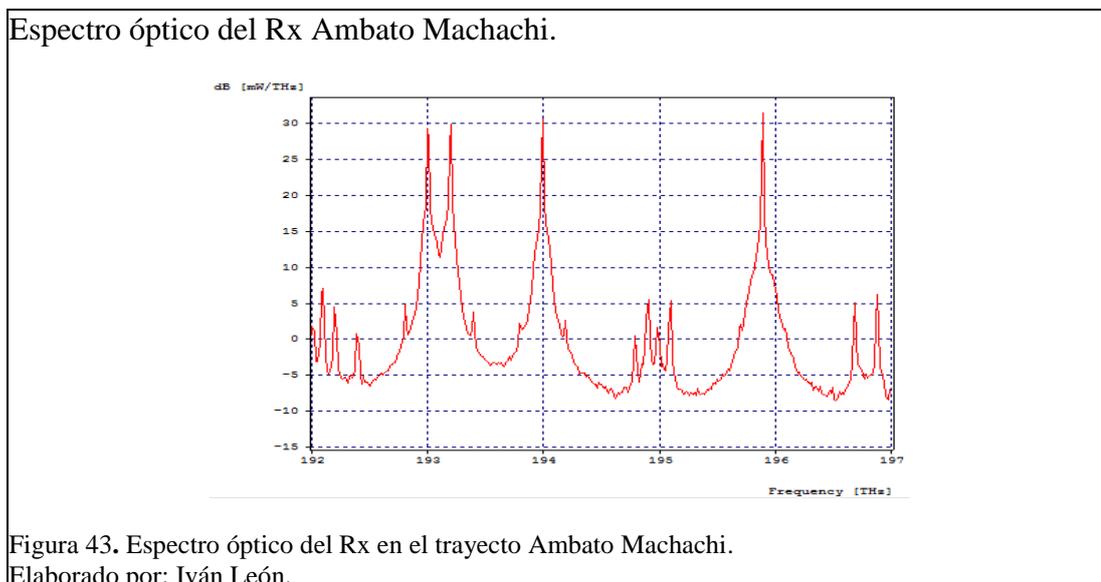


Figura 42. Espectro óptico del Tx en el trayecto Ambato Machachi. Elaborado por: Iván León.

Las curvas de la figura 42 representan el espectro óptico del transmisor ubicado en la ciudad de Ambato, cuya curva inicia en -35 dB y va creciendo de una manera cuadrática hasta un pico máximo de 10 dB, se observa claramente 4 picos en esta figura que constituyen los canales que posee el transmisor.



La figura 43 hace referencia al espectro óptico del receptor ubicado en Machachi, en el cual se observa que la curva inicia entre 0 y 5 dB manteniendo, lo que tiene que ver con los picos siguen siendo a la misma frecuencia lo que expresa que no han variado su longitud de onda de origen del transmisor, existe una adecuada comunicación con las respectivas pequeñas distorsiones que se deben al tramo de fibra óptica usada.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Ambato - Machachi

En la figura 44 se puede observar el diagrama del ojo correspondiente al primer canal que se está transmitiendo el cual está a una frecuencia de 195.9 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-23} y su jitter es de 0.0141685ns, con este tipo de datos se considera excelente el enlace para este tipo de comunicaciones, con este valor de jitter podemos darnos cuenta que la comunicación en este canal no sufre mucha variación en el envío de información, ya que debido a la definición de jitter se

entiende que si posee un alto valor tendrá una conexión con mayor cantidad de retardo y problemas.

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Ambato Machachi.

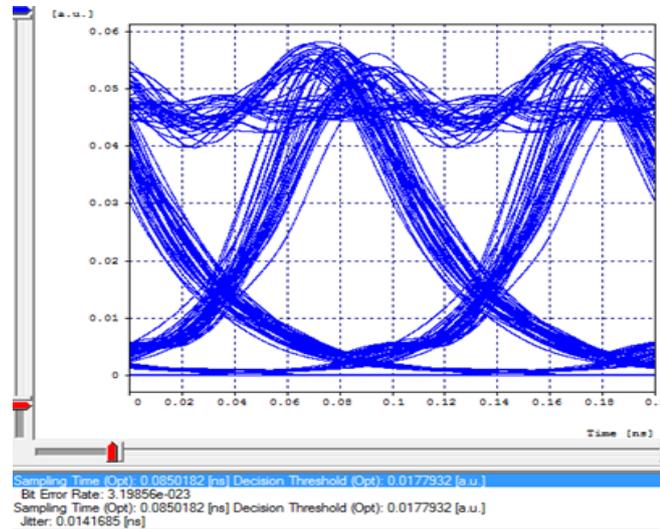


Figura 44. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi. Elaborado por: Iván León.

En la figura 45 se encuentra el diagrama del ojo del segundo canal cuya frecuencia es de 194.0 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-20} además consta de un jitter de 0.0162508 ns.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Ambato Machachi.

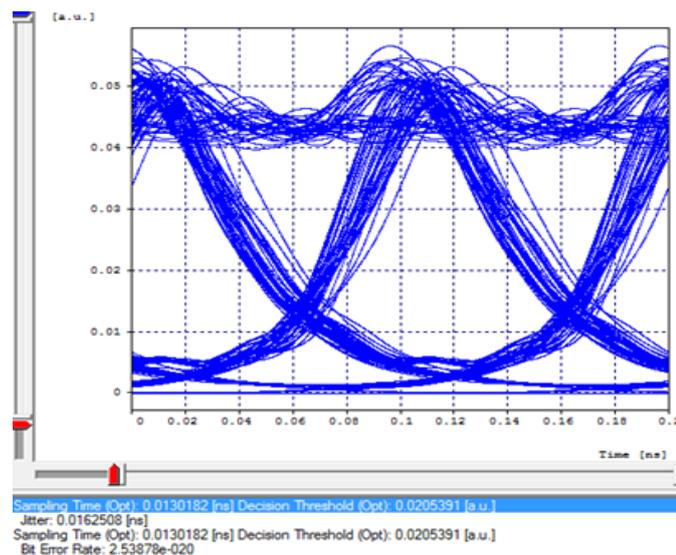


Figura 45. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi. Elaborado por: Iván León.

En la figura 46 se visualiza el diagrama del ojo correspondiente al tercer canal, el cual está a una frecuencia de 193.2 THz. Este diagrama refleja un BER de 10^{-013} con un jitter de 0.018047 ns lo cual se considera aceptable en este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Ambato Machachi.

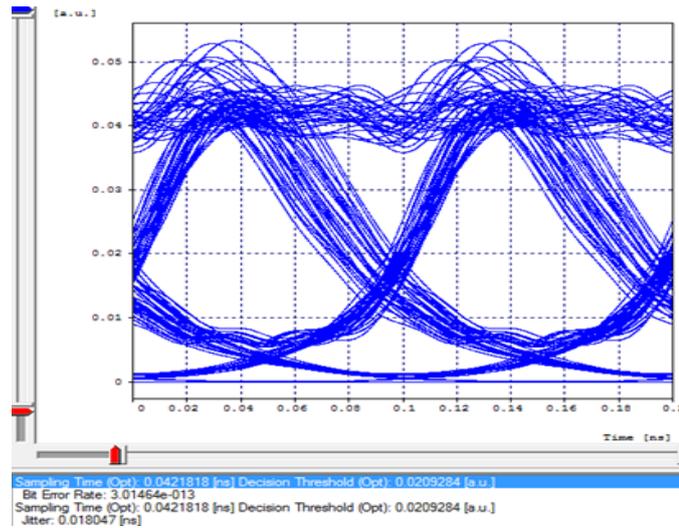


Figura 46. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Ambato Machachi.

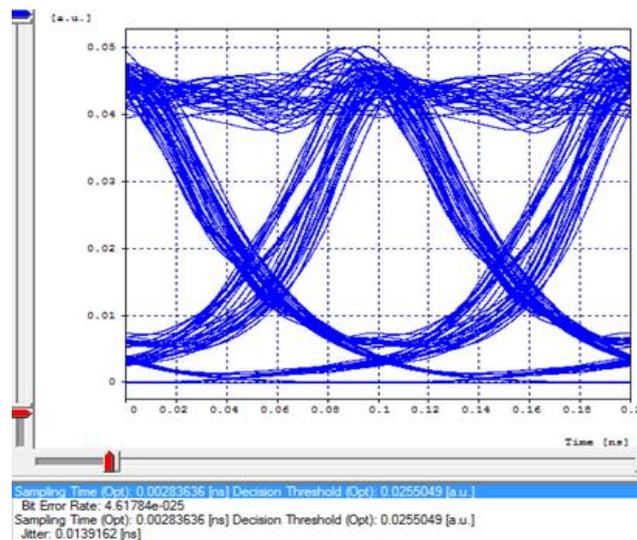


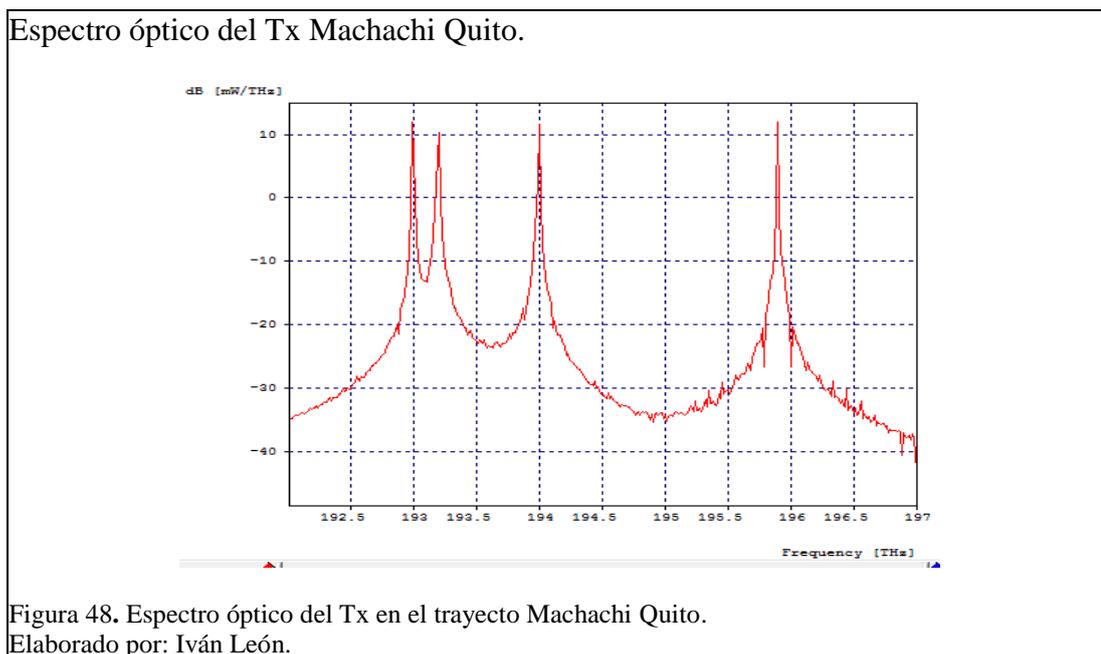
Figura 47. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Ambato Machachi. Elaborado por: Iván León.

La figura 47 corresponde al cuarto canal cuya frecuencia nominal es de 193.0 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-25} y un jitter de 0.0139162 ns valores excelentes en este tipo de comunicaciones.

4.3.5 Tramo: Machachi-Quito

En el anexo 12 se observa el trayecto por el cual debe pasar el tramo de fibra óptica, el cual tiene que ser por la troncal de la sierra hasta llegar a Quito al Ministerio de Defensa, para este tramo se considera una distancia de 40 Km.

En la figura 48 se observa el espectro óptico del transmisor ubicado en Machachi, cuya curva inicia en -35 dB y va creciendo hasta un pico máximo de 10dB, se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor del total de la capacidad de la tercera ventana.



La figura 49 hace referencia al espectro óptico del receptor ubicado en Quito, en cuanto a los picos siguen siendo a la misma frecuencia lo que quiere decir que está en la misma longitud de onda de origen en el transmisor pero empezando esta vez su

curva desde -5 dB. A pesar de esto existe una adecuada comunicación con las respectivas pequeñas distorsiones que se deben al tramo de fibra óptica usada.

Espectro óptico del Rx Machachi Quito.

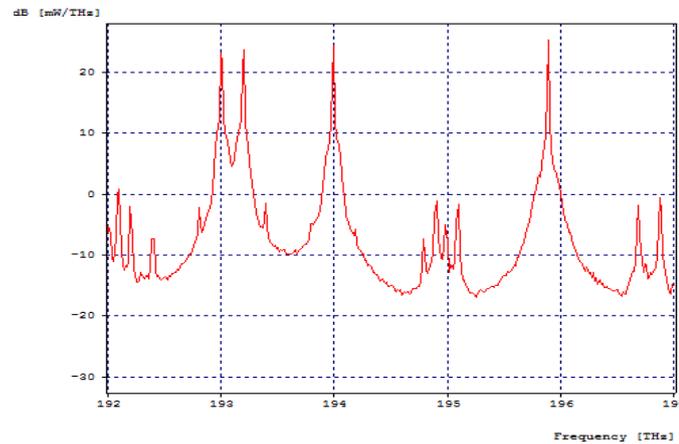


Figura 49. Espectro óptico del Rx en el trayecto Machachi Quito.
Elaborado por: Iván León.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Machachi - Quito

En la figura 50 se puede observar el diagrama del ojo del primer canal el cual está a una frecuencia de 195.6 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-40} y un jitter de 0.0155658ns, los cuales son valores muy ideales en este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Machachi Quito.

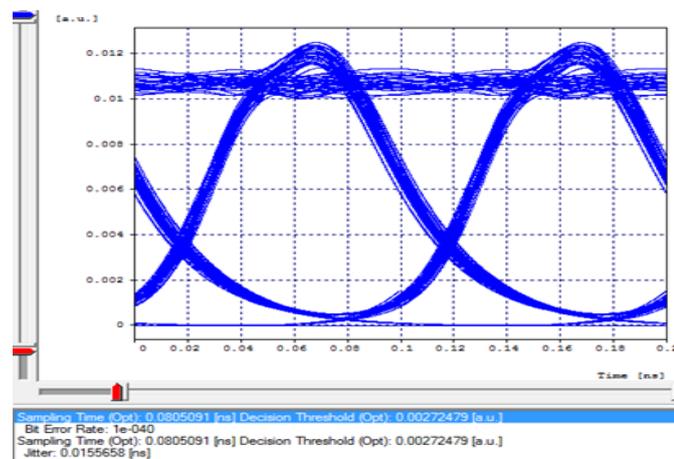


Figura 50. Diagrama del ojo del primer canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 51 se observa el diagrama del ojo del segundo canal el cual se encuentra a una frecuencia de 194.0 THz, este diagrama posee su BER de 10^{-40} con un jitter de 0.0186545 ns, valores son muy ideales para las comunicaciones ópticas.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Machachi Quito.

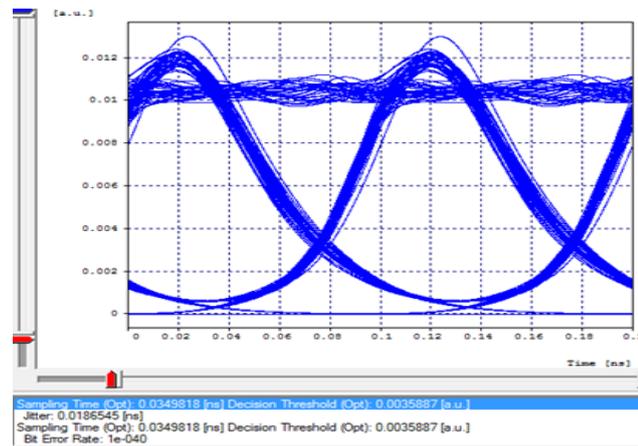


Figura 51. Diagrama del ojo del segundo canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 52 se tiene el diagrama del ojo del tercer canal el cual tiene una frecuencia nominal de 193.2 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-037} y un jitter de 0.0141123 ns, con estos valores se puede concluir que es un enlace ideal en comunicaciones ópticas.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Machachi Quito.

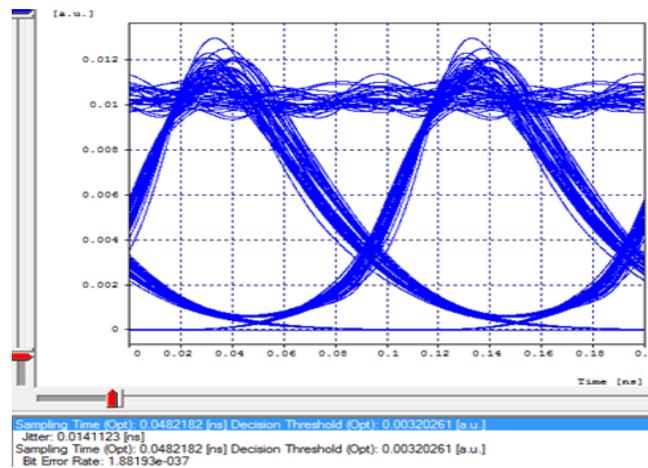
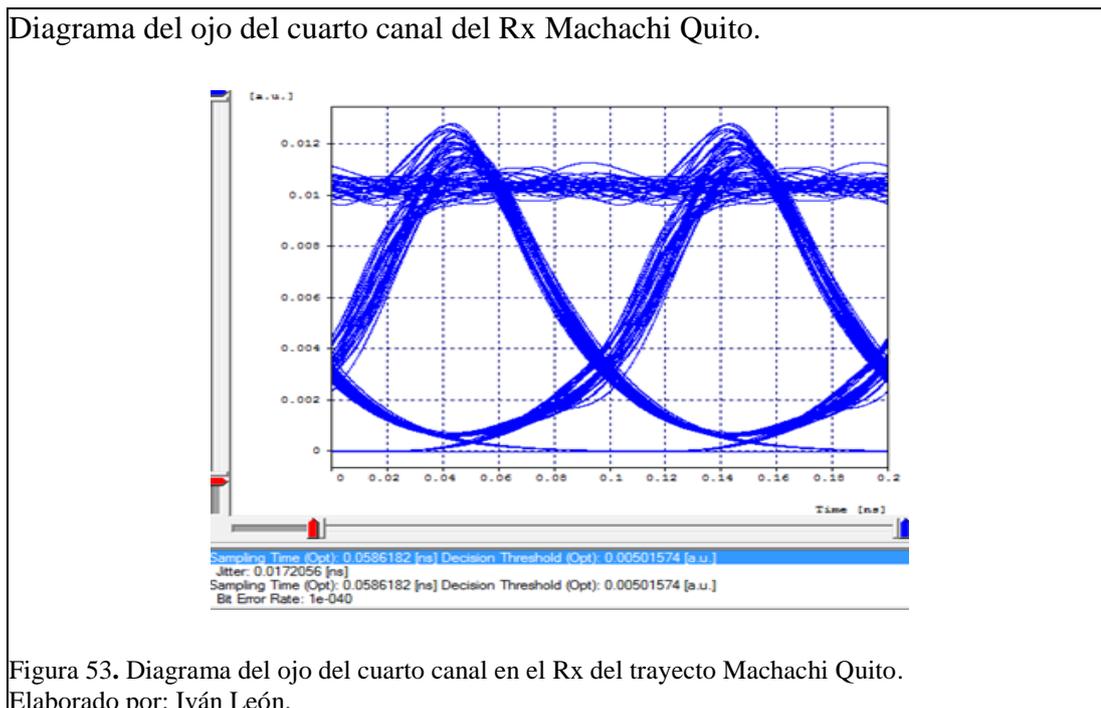


Figura 52. Diagrama del ojo del tercer canal en el Rx del trayecto Machachi Quito.
Elaborado por: Iván León.

La figura 53 corresponde al diagrama del ojo del cuarto canal que posee una frecuencia nominal de 193.0 THz, este diagrama tiene un BER de 10^{-40} con un jitter de 0.0172056 ns. Estos valores definen un enlace ideal en este tipo de comunicaciones ópticas.



4.4 Simulación segunda alternativa

La ruta que comprende la segunda alternativa está compuesta por cuatro tramos. En varios puntos intermedios de cada tramo se ubicarían equipos OADM para gestionar la información en las principales ciudades por donde se instalaría la fibra. A continuación se realiza la explicación de la simulación realizada para cada tramo:

4.4.1 Tramo: Guayaquil – Machala

Se puede observar la ruta que tomaría el tramo Guayaquil a Machala en el anexo 14, que iría desde la Base Naval Sur por la ruta 40 hasta llegar a la troncal de la costa y seguiría por la vía La Primavera hasta llegar al CAE de Machala. En este tramo

tendría una distancia de 192 Km, en Machala será donde estará ubicado nuestro equipo OADM que permitirá a las FF.AA gestionar toda la información.

Espectro óptico del Tx Guayaquil Machala.

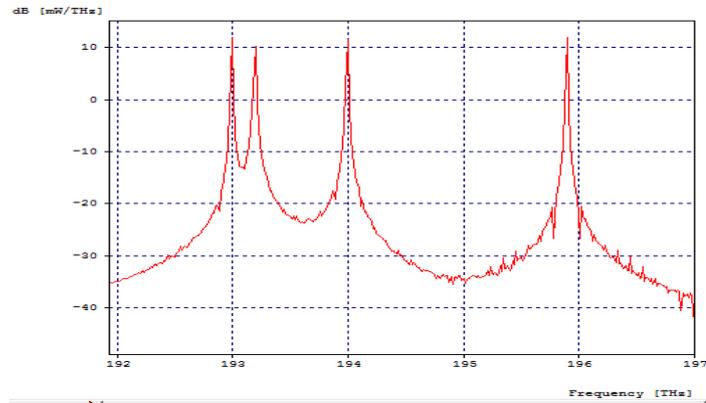


Figura 54. Espectro óptico del Tx en el trayecto Guayaquil Machala.
Elaborado por: Iván León.

La curva de color rojo presente en la figura 54 representa el espectro óptico del transmisor ubicado en Guayaquil, la curva crece cuadráticamente hasta un pico máximo cuyo valor es de 10 dB, se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor, la gráfica también posee la separación de sus canales de 0.8nm para todas las longitudes de ondas presentes en la tercera ventana, cuyos canales se encuentran a las frecuencias de 193.0; 193.2; 194.0 y 195.9 THz respectivamente.

Espectro óptico del Rx Guayaquil Machala.

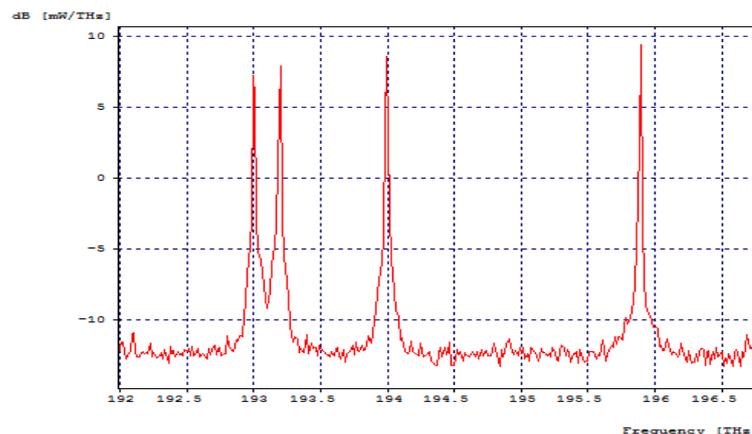
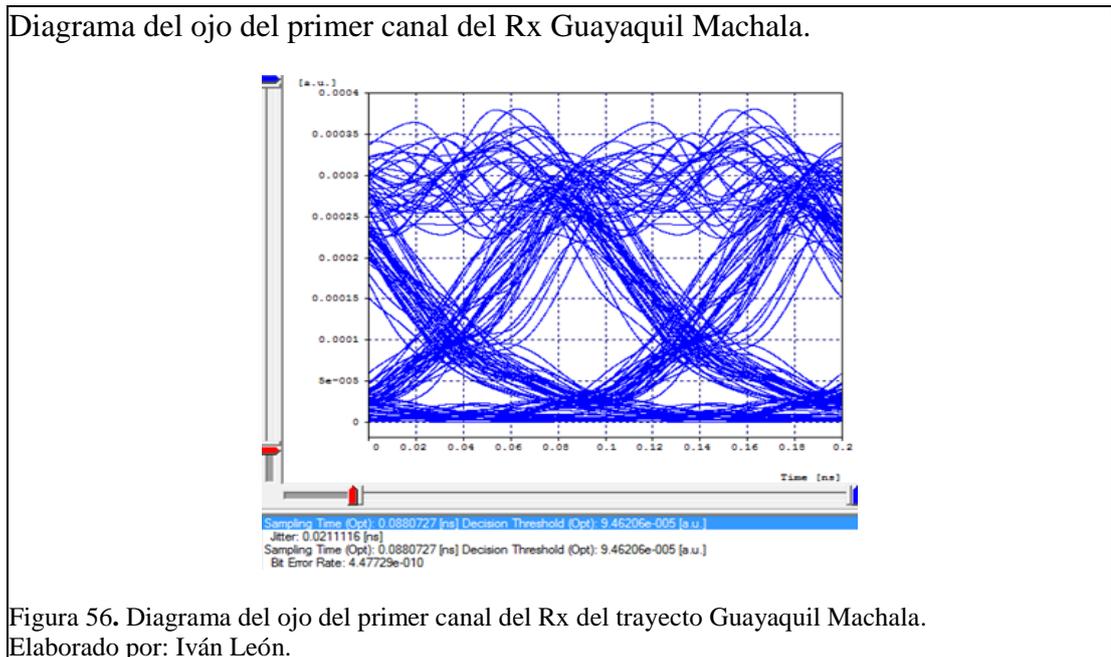


Figura 55. Espectro óptico del Rx en el trayecto Guayaquil Machala.
Elaborado por: Iván León.

La figura 55 corresponde al espectro óptico del receptor ubicado en Machala. Ahí se observa que a diferencia de la figura 4.40, la curva inicia aproximadamente entre -12 y -10 dB manteniendo los 4 picos que representan sus 4 canales respectivamente sin variar la amplitud que poseía en el Tx y tampoco la separación de sus canales. Se observan también pequeñas distorsiones en comparación al pico de cada canal, esto se debe a toda la longitud de fibra óptica usada en este trayecto.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Guayaquil – Machala

En la figura 56 se observa un diagrama del ojo del primer canal que se transmite y se encuentra a una frecuencia nominal de 195.9 THz, cuyo diagrama del ojo se encuentra a simple vista un tanto distorsionado a pesar de esto posee un BER de 10^{-10} y su jitter es de 0.0211116 ns, con este tipo de datos se considera aceptable el enlace para este tipo de comunicaciones, con el valor del jitter se considera que la comunicación en este canal no sufre mucha variación en el envío de información debido a que a mayor jitter se posee una conexión con mayor cantidad de retardos.



En la figura 57 se encuentra el diagrama del ojo del segundo canal en el cual está a una frecuencia de 194.0 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-8} que es más mayor por dos puntos al obtenido en la figura 4.56 por tal razón se concluye que el segundo canal sería menos fiable que el primero. Además en el diagrama del ojo del segundo

canal se aprecia un jitter de 0.0203372 ns lo que representa un enlace aceptable en este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Guayaquil Machala.

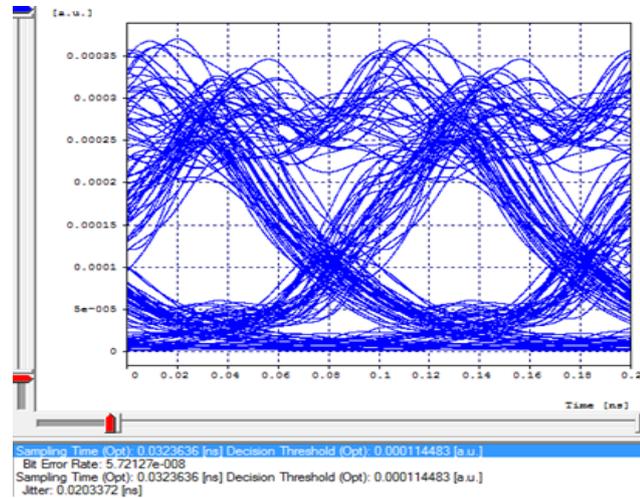


Figura 57. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Guayaquil Machala. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Guayaquil Machala.

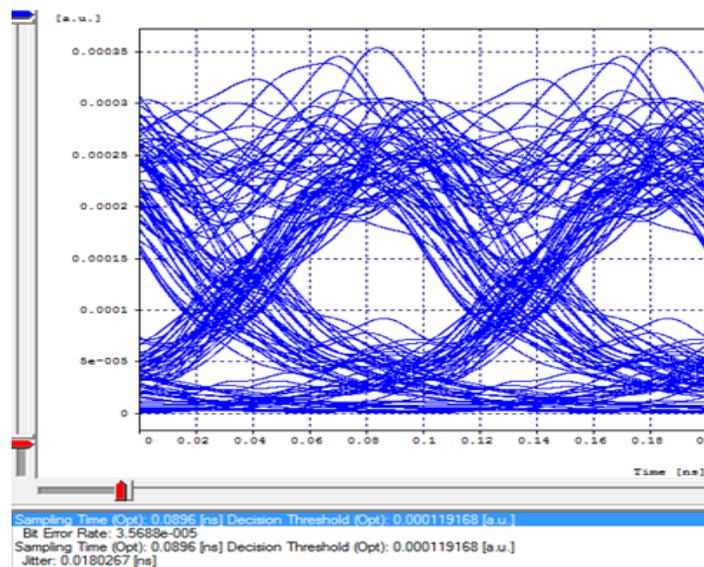
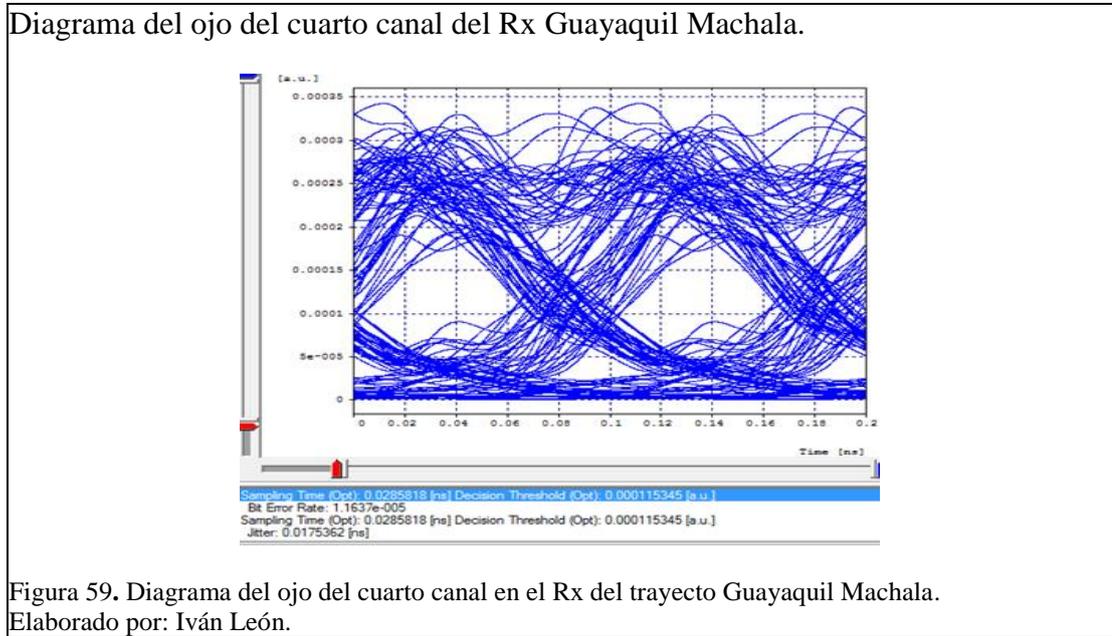


Figura 58. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Guayaquil Machala. Elaborado por: Iván León.

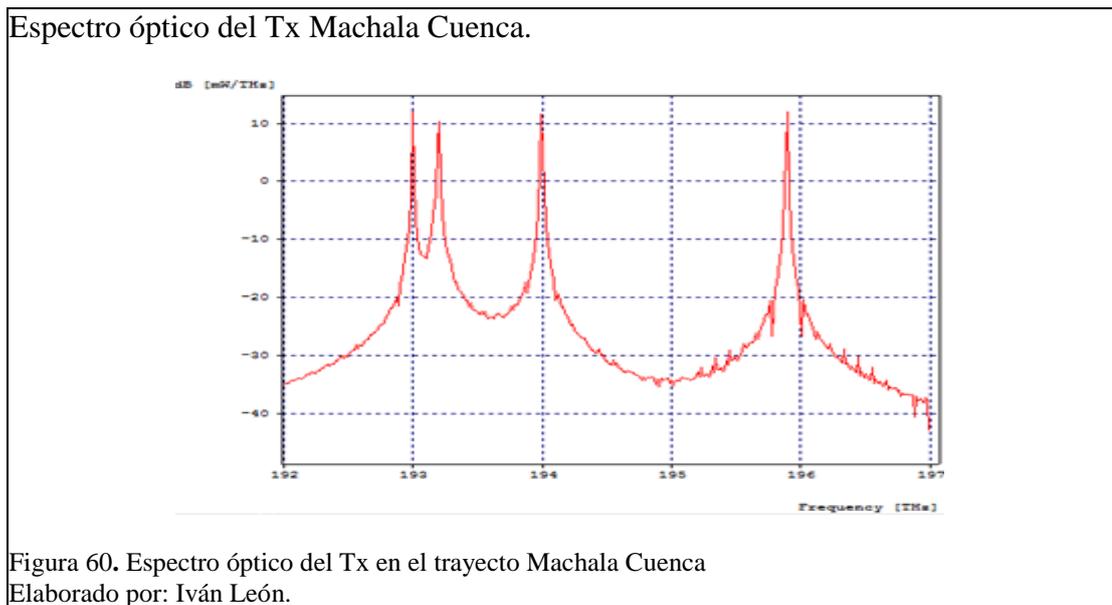
En la figura 58 se puede observar el diagrama del ojo correspondiente al tercer canal el cual está a una frecuencia nominal de 193.2 THz, este diagrama ostenta un valor del BER de 10^{-5} con un jitter de 0.0180267 ns.

En la figura 59 corresponde al diagrama del ojo del cuarto canal en el cual está situado en una frecuencia de 193.0 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-5} y un jitter de 0.0175362 ns de estos valores se puede decir que posee valores del BER más altos que los dos primeros canales.

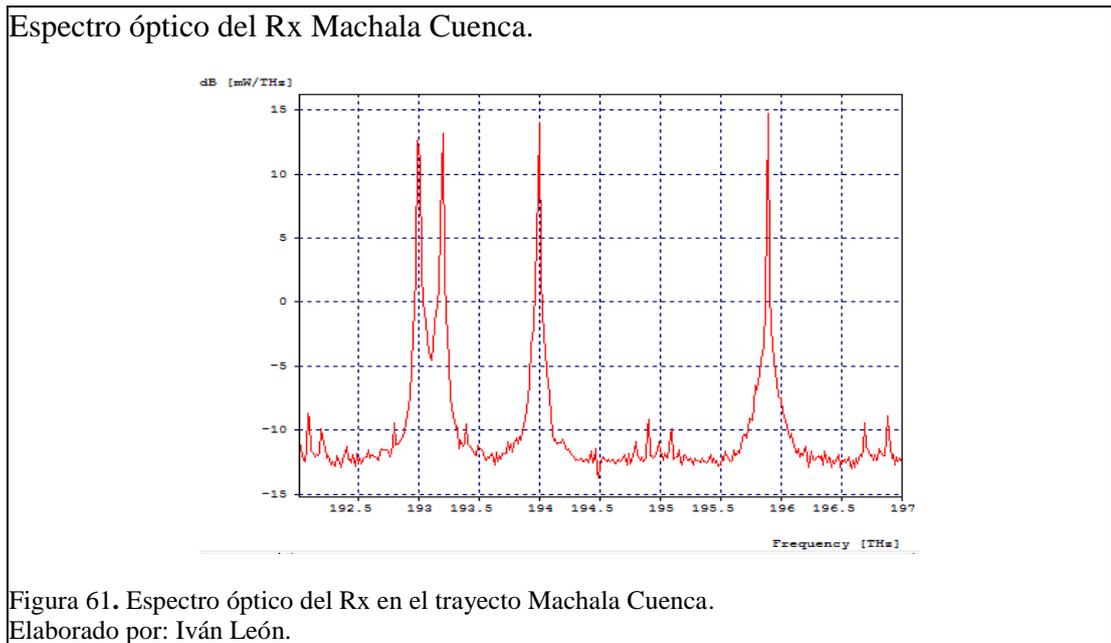


4.4.2 Tramo: Machala – Cuenca

La misma que parte por la ruta 59 hasta alcanzar a la carretera panamericana (troncal de la sierra) que nos llevará hasta nuestro destino. La distancia entre estas ciudades es de 170 Km se puede apreciar en el anexo 16.



En la figura 60 se encuentra representado la curva del espectro óptico del transmisor ubicado en la ciudad de Machala, cuya curva inicia en -35 dB y crece de una manera cuadrática hasta un pico máximo que se encuentra en 10 dB, se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor.



La figura 61 corresponde al espectro óptico del receptor ubicado en Cuenca, en el cual se observa que la curva inicia aproximadamente entre -12 dB y mantiene los 4 picos de sus canales a un máximo de 12, 14 y 15 dB respectivamente. La separación de sus canales no ha sufrido ninguna variación con relación al transmisor, se verifican pequeñas distorsiones y algunos picos muy pequeños que representan ruido propio de la transmisión.

Diagramas de ojo de los canales usados en el tramo Machala – Cuenca

En la figura 62 se observa un diagrama del ojo del al primer canal que se transmite a una frecuencia nominal de 195.6 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-10} y su jitter es de 0.0197549 ns, lo cual determina que el enlace es adecuado para este tipo de comunicaciones. El valor de jitter del primer canal no sufre mucha variación en el

envío de información, esto se debe a que si en una conexión se posee mayor cantidad de jitter dicha comunicación tendrá mayor cantidad de retardo y problemas.

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Machala Cuenca.

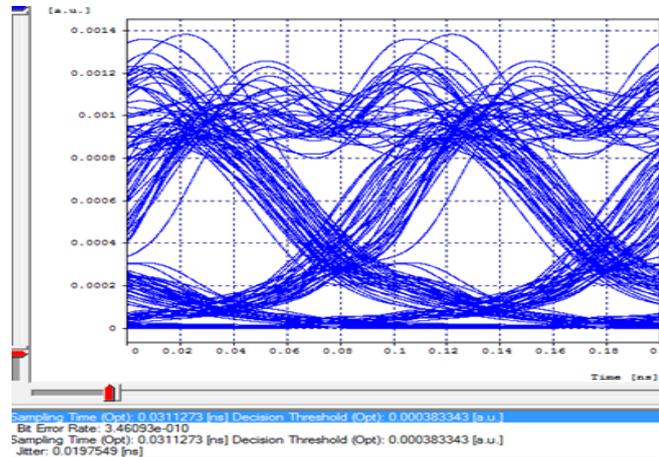


Figura 62. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Machala Cuenca. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Machala Cuenca.

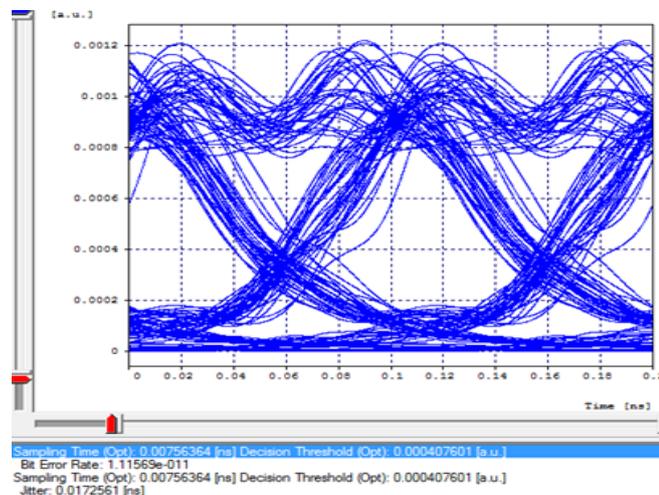


Figura 63. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Machala Cuenca. Elaborado por: Iván León.

En la figura 63 se encuentra el diagrama del ojo del segundo canal a una frecuencia de 194.0 THz. La figura muestra un BER de 10^{-11} , que es un valor menor al de la figura 62 por lo que este canal se considera más fiable que el primero. Por otra parte el jitter obtenido es de 0.0172561 ns lo que considera un enlace adecuado.

La figura 64 representa un diagrama del ojo correspondiente al tercer canal transmitido a una frecuencia de 193.2 THz, este diagrama ostenta un BER de 10^{-6} con un jitter de 0.0174285 ns.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Machala Cuenca.

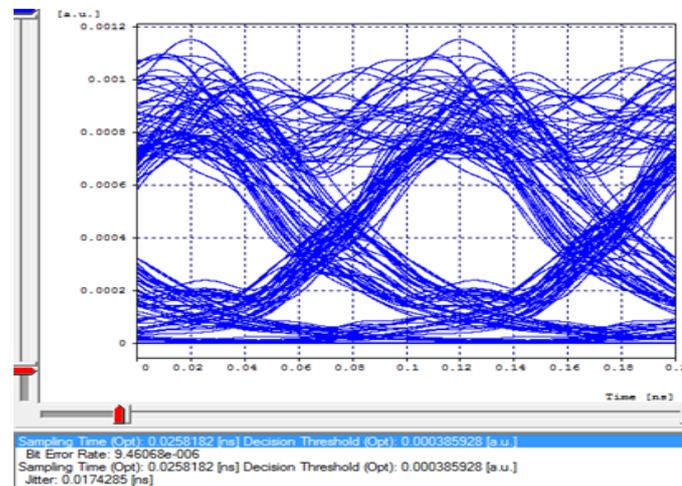


Figura 64. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Machala Cuenca. Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Machala Cuenca.

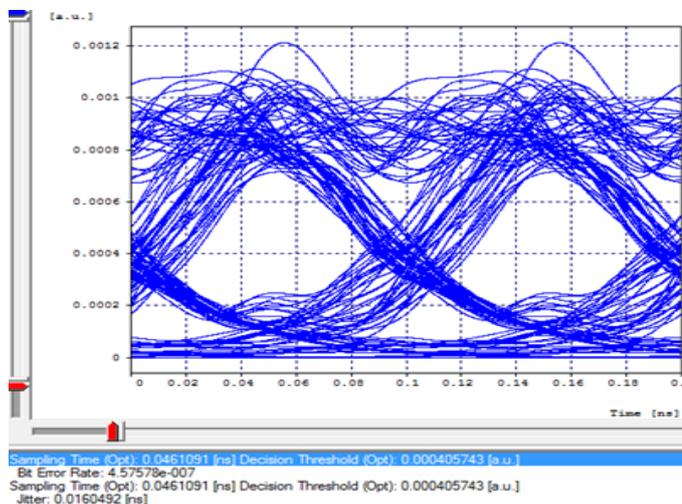
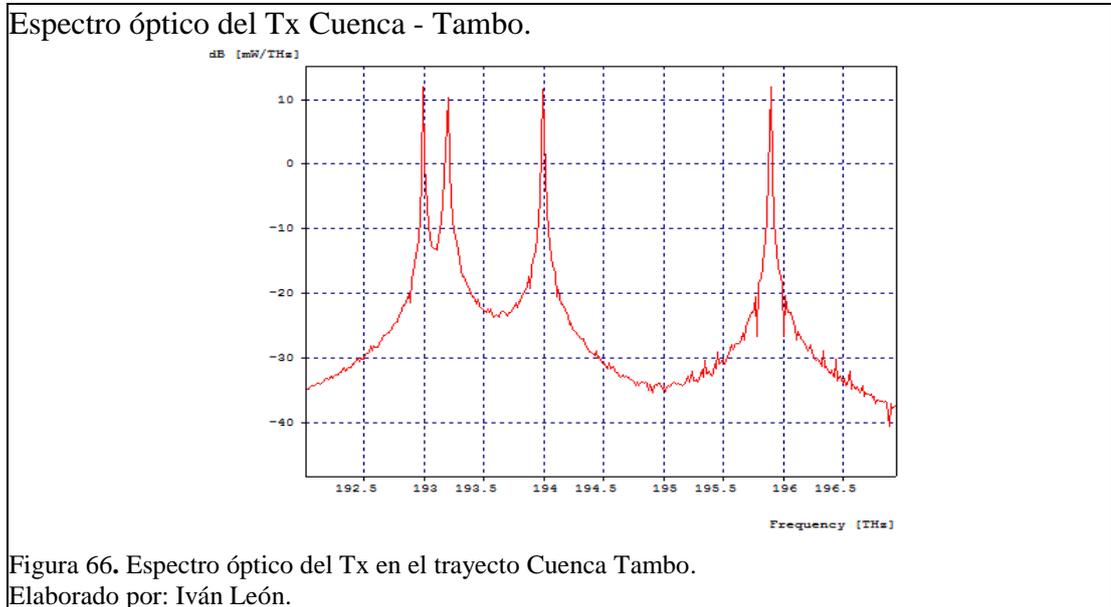


Figura 65. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Machala Cuenca. Elaborado por: Iván León.

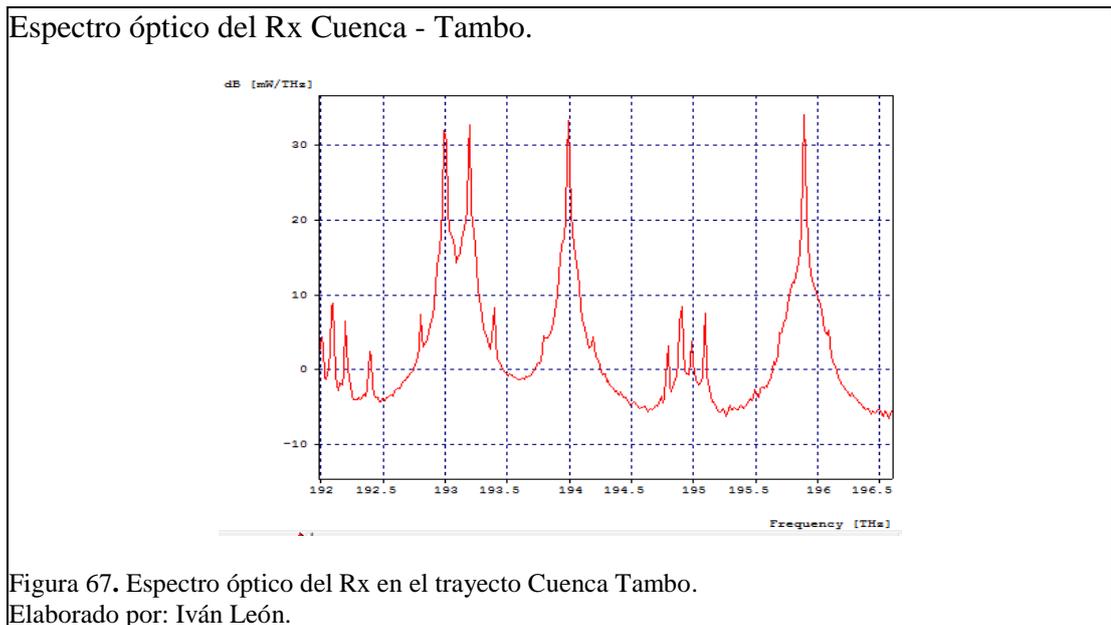
La figura 65 representa al cuarto canal que posee una frecuencia nominal de 193.0THz, además tiene un BER de 10^{-7} con un jitter de 0.0160492 ns.

4.4.3 Tramo: Cuenca – Tambo

En el anexo 18 se puede observar el tramo Cuenca - Tambo, mismo que va desde Cuenca por la panamericana sur (troncal de la sierra) hasta llegar al Tambo. Se considera una distancia de 100 Km entre ciudades.



La curva de color rojo presente en la figura 66 indica el espectro óptico presente en Cuenca, la curva crece cuadráticamente hasta un pico máximo de 10dB se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor, los cuales tienen la misma amplitud.



La figura 67 corresponde al espectro óptico del receptor ubicado en la ciudad del Tambo, en el cual se observa que los picos siguen siendo a la misma frecuencia lo que quiere decir que está en la misma longitud de onda de origen en el transmisor pero en este caso a diferencia de la figura 4.68 la curva inicia aproximadamente entre 5 y 10 dB. La separación de sus canales no varió, posee unas pequeñas distorsiones y picos muy bajos en comparación al pico máximo de cada canal, estas distorsiones se deben a toda la longitud de fibra óptica usada en este trayecto.

Diagramas de ojos de los canales usados en el tramo Cuenca - Tambo

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Cuenca - Tambo.

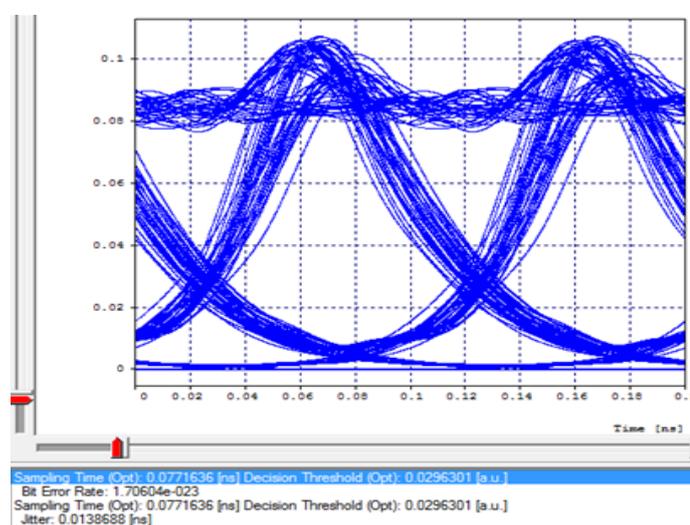


Figura 68. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo. Elaborado por: Iván León.

En la figura 68 se puede observar un diagrama del ojo del primer canal el cual está a una frecuencia nominal de 195.9 THz, en este diagrama posee un BER de 10^{-23} este valor da como resultado que esta transmisión es muy buena además su jitter es de 0.0138688 ns, el jitter considera si la comunicación es buena, regula o mala (una conexión con mayor cantidad de retardos), en este caso es aceptable el enlace para comunicaciones ópticas, ya que con este valor se interpreta que este canal no sufre mucha variación en el envío de datos e información.

En la figura 69 se dispone del diagrama del ojo del segundo canal el cual está a una frecuencia de 194.0 THz. Este diagrama posee un BER de 10^{-22} además el diagrama consta con un jitter de 0.0155575 ns lo que es considerado un buen enlace en este tipo de comunicaciones.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Cuenca - Tambo.

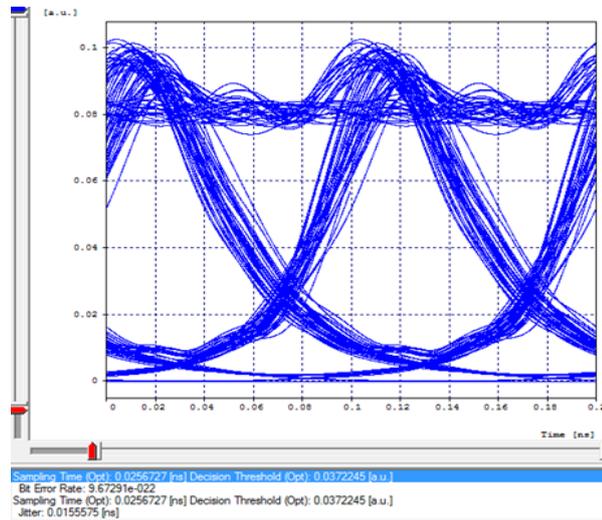


Figura 69. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo.
Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Cuenca - Tambo.

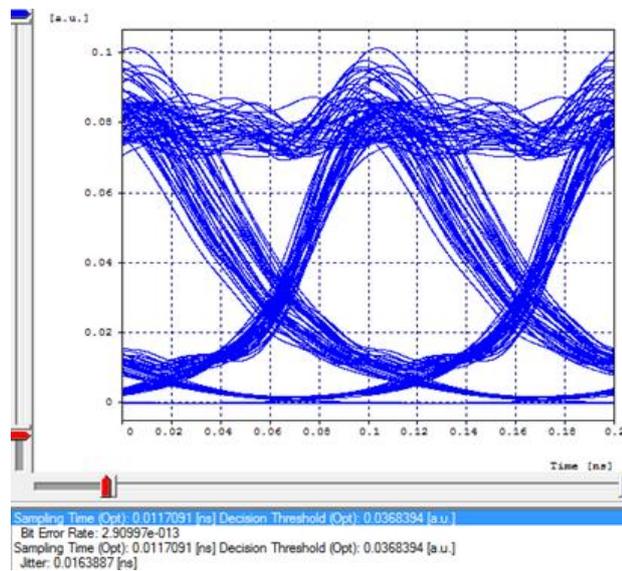


Figura 70. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Cuenca Tambo.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 70 se observa un diagrama del ojo correspondiente al tercer canal el cual está a una frecuencia de 193.2 THz. Este diagrama presenta un BER de 10^{-13} con un jitter de 0.0163887 ns de ello se desprende que la fibra para este trayecto es adecuado. Comparando a los dos canales anteriores se puede decir que teóricamente el diagrama del ojo del tercer canal con este valor de BER sería menos confiable ya que se tiene exactamente 2 bits erróneos por cada 1×10^{13} bits enviados.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Cuenca - Tambo.

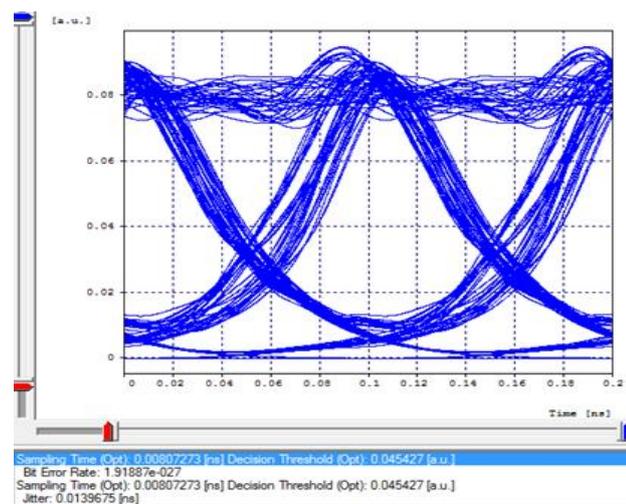


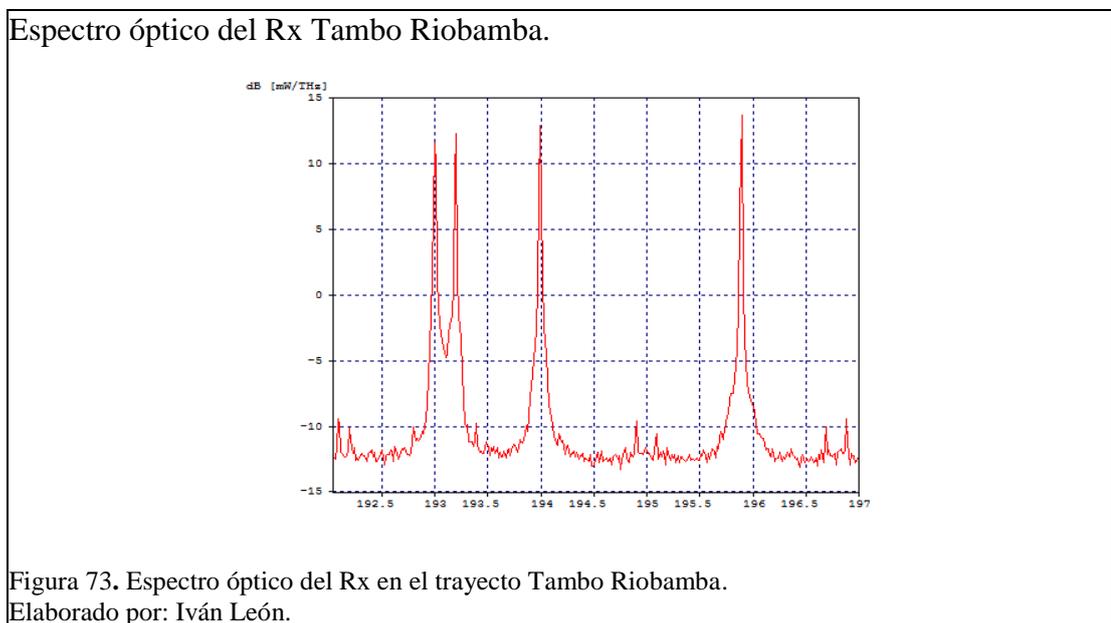
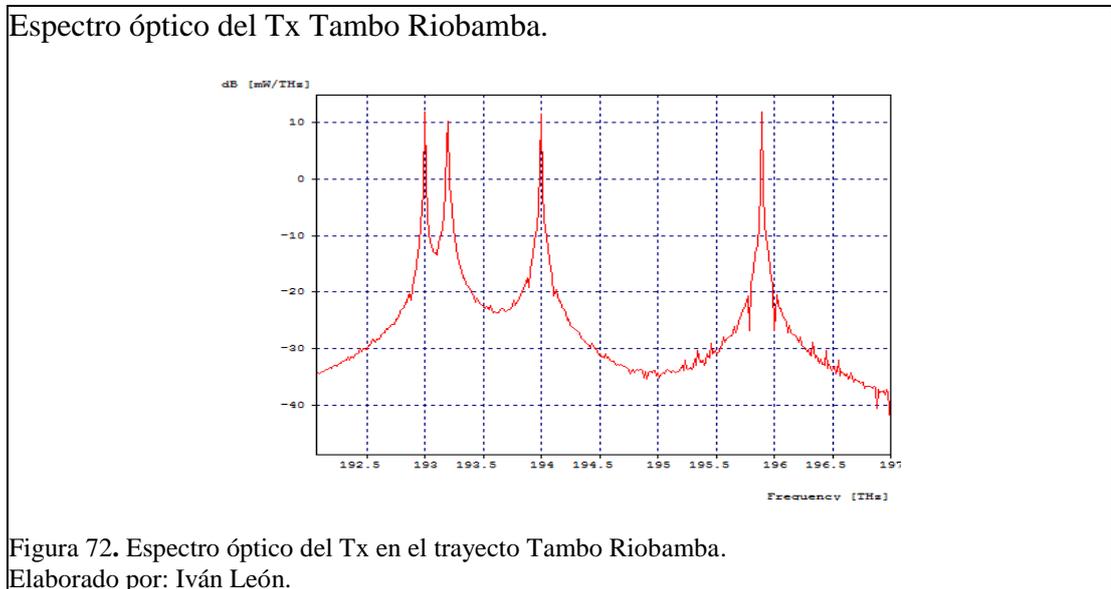
Figura 71. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Cuenca Tambo. Elaborado por: Iván León.

Por otra parte la figura 71 representa el diagrama del ojo del cuarto canal el cual se encuentra situado en una frecuencia nominal de 193.0 THz, a diferencia del tercer canal este diagrama posee un BER de 10^{-27} y un jitter de 0.0139675 ns con estos valores se puede decir que la comunicación es excelente para las comunicaciones ópticas por lo que se observa un gráfico casi sin distorsiones y posee una abertura muy grande, gracias a estas características posee una fiabilidad mayor que los anteriores tres canales.

4.4.4 Tramo: Tambo – Riobamba

En el anexo 20 se puede observar la ruta que seguirá el tramo Tambo - Riobamba, el iría por la panamericana Sur pasando por Alausí hasta llegar a Riobamba, con una distancia de 175 Km.

Por otra parte la curva de color rojo presente en la figura 72 indica el espectro óptico en Tambo, como se aprecia la curva crece cuadráticamente hasta un pico máximo de aproximadamente 10dB se distinguen claramente los 4 picos en esta figura que representan los canales que posee el transmisor.



La figura 73 corresponde al espectro óptico del receptor ubicado en Riobamba, en el cual se observa que en este caso a diferencia del transmisor figura 72 la curva inicia aproximadamente entre -12 dB manteniendo los 4 picos que vienen a representar sus 4 canales respectivamente sin variar considerablemente la amplitud que poseía en el

Tx y tampoco la separación de sus canales, posee unas pequeñas distorsiones formando picos muy pequeños en comparación al pico de cada canal, conocido como ruido se debe a toda la longitud de fibra óptica usada en este trayecto.

Diagramas de ojos de los canales usados en el tramo Tambo – Riobamba

En la figura 74 se observa un diagrama del ojo el cual corresponde al primer canal que se está transmitiendo a una frecuencia nominal de 195.9 THz, en este diagrama se ve que el ojo se encuentra con pocas distorsiones a pesar de esto posee un buen BER cuyo valor es de 10^{-10} y su jitter es de 0.0191917 ns, con este tipo de datos se considera aceptable el enlace para este tipo de comunicaciones, con el valor del jitter se puede dar cuenta que la comunicación en este canal no sufre mucha variación en el envío de información debido a que a mayor jitter la conexión presenta mayor cantidad de retardos.

Diagrama del ojo del primer canal del Rx Tambo Riobamba.

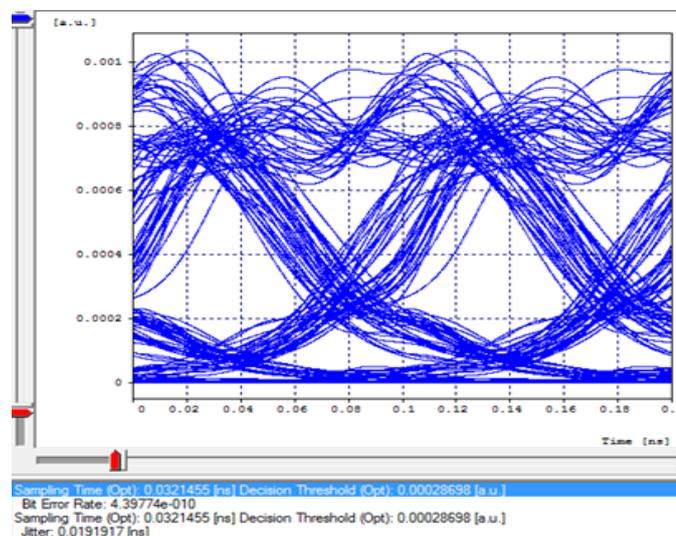


Figura 74. Diagrama del ojo del primer canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 75 se encuentra el diagrama del ojo del segundo canal en el cual está a una frecuencia de 194.0 THz, este diagrama posee un BER de 10^{-10} además el diagrama del ojo consta con un jitter de 0.0172495 ns, de las anteriores dos figuras se

aprecia que el valor del BER es igual en los dos casos por lo que están presentando la misma fiabilidad.

Diagrama del ojo del segundo canal del Rx Tambo Riobamba.

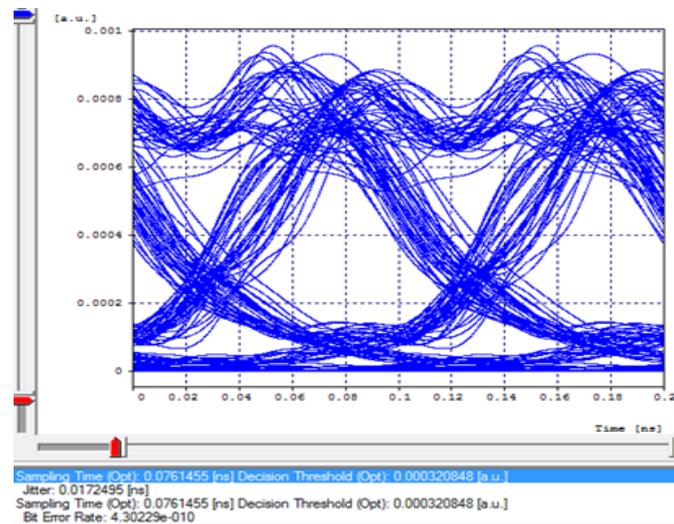


Figura 75. Diagrama del ojo del segundo canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

Diagrama del ojo del tercer canal del Rx Tambo Riobamba.

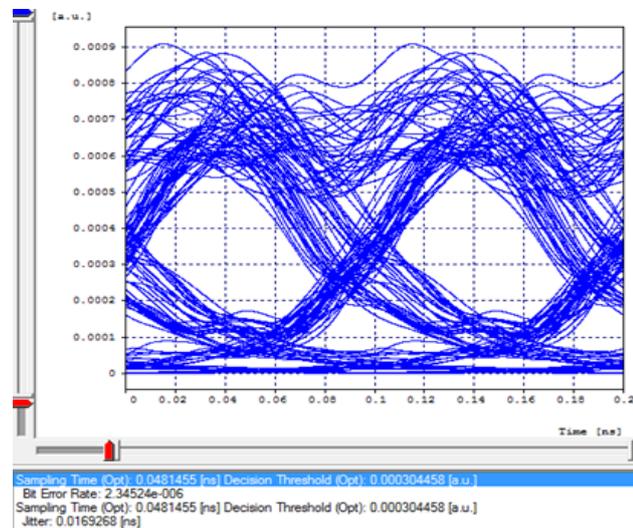


Figura 76. Diagrama del ojo del tercer canal del Rx del trayecto Tambo Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

En la figura 76 se puede distinguir un diagrama del ojo correspondiente al tercer canal el cual está a una frecuencia de 193.2 THz, este diagrama ostenta un BER de 10^{-6} con un jitter de 0.0169268 ns, en comparación a los anteriores dos canales se

puede decir que este canal presenta una menor fiabilidad, se puede observar la figura 77 corresponde al cuarto canal el cual posee un BER de 10^{-7} y un jitter de 0.0168692 ns con estos valores se puede decir que la comunicación en este canal es tres veces menos fiable que los dos primeros canales.

Diagrama del ojo del cuarto canal del Rx Tambo Riobamba.

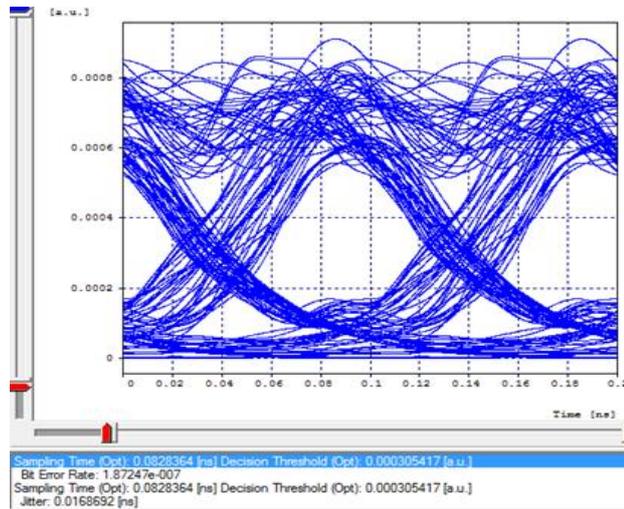


Figura 77. Diagrama del ojo del cuarto canal en el Rx del trayecto Tambo Riobamba.
Elaborado por: Iván León.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Factibilidad Técnica

Para realizar el análisis económico del presente proyecto, fue necesario en primera instancia definir aquellos equipos que se requerirán para interconectar los tramos indicados para las dos alternativas. Posteriormente se realizó un análisis técnico comparativo entre las proformas presentadas por los fabricantes Huawei y Cisco para soluciones de redes OTN. Después de su respectivo estudio, se seleccionó la propuesta presentada por la empresa Huawei por cumplir los requerimientos y las especificaciones que demanda el presente proyecto. El detalle de los costos y equipos proformados se encuentran explicados desde el Anexo 23 hasta el 26.

A continuación se describen de forma general los equipos ópticos que forma parte de la licitación ganadora: los equipos OSN OptiX 8800 se implementan principalmente en las redes troncales nacionales, redes troncales regionales / provinciales, y algunos sitios centrales de las grandes metrópolis. Además de poseer grandes capacidades y usados en larga distancia WDM, el OptiX OSN 8800 proporciona a los operadores soluciones de transporte OTN / WDM backbone de extremo a extremo para proveer el cuidado de gran capacidad y la transmisión de ultra capacidad, el OptiX OSN 8800 T64 / T32 / T16 puede formar una red OTN completa de extremo a extremo o trabajar con el OptiX BWS 1600g, OptiX OSN 1800 y OptiX OSN 9800 para formar una red WDM, el OptiX OSN 8800 también se puede utilizar con el NG-SDH, PTN, o equipos de comunicación de datos para lograr una solución de transporte completa. (Huawei)

5.2 Factibilidad Económica

La evaluación económica del presente proyecto permite determinar aquellos aspectos que justifican su rentabilidad y beneficio en el tiempo. Considerando el tipo de proyecto, su análisis económico se basó en los ingresos y gastos relacionados, teniendo en cuenta los flujos de caja que se realizan a fin de determinar si la institución es capaz de soportar la inversión que conlleva su implementación y si es

posible retribuir adecuadamente el capital aportado en su implementación y posterior operación.

Para la evaluación del presente Proyecto, los indicadores de rentabilidad utilizados son: Flujo de caja, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), y el período de recuperación de la inversión. Debido a que el COMACO es una institución sin fines de lucro, es decir no percibe ingresos se analizó el VAN y la TIR de tipo económico mas no de tipo financiero.

5.3 Flujo de caja

Como flujo de caja se entiende a todos los ingresos y egresos que tendrá el presente proyecto en la empresa. En las tablas 6 hasta la 9 se presenta el flujo de caja realizado para el presente proyecto.

En cuanto al valor de los ingresos el COMACO al ser una empresa sin fines de lucros ya que no percibe utilidades ni vende servicios, sus ingresos vendrían a ser el ahorro que tendrían al contar con su propia red de fibra óptica, se consideró una inflación de 3.96% para el aumento anual tomando el valor anual del 2015 según los datos recogidos del Banco Central del Ecuador.

5.3.1 Primera Alternativa:

Tabla 6. Flujo de caja correspondiente al año 5 de la primera alternativa.

FLUJO NETO DE EFECTIVO						
Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (ahorro)		\$ 200.000,00	\$ 207.936,67	\$ 216.188,29	\$ 224.767,36	\$ 233.686,88
Mantenimiento Enlaces PDH		\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14
EGRESOS COSTOS OPERATIVOS						
Equipos	\$ 927.285,35	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mantenimiento	\$ 243.449,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
Total egresos	\$ 1.170.734,99	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
Logísticos	\$ 114.355,00	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14
Servicios básicos	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00
Total gastos administrativos	\$ 114.715,00	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14
DEPRECIACIÓN						
Instalaciones, maquinarias, equipos 10%.		\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54
Inversión	1285449,99					
UTILIDAD	-1285449,99	\$ 344.911,47	\$ 352.848,13	\$ 361.099,75	\$ 288.528,94	\$ 297.448,46
FLUJO NETO DE EFECTIVO						
	\$(1.285.449,99)	\$ 344.911,47	\$ 352.848,13	\$ 361.099,75	\$ 288.528,94	\$ 297.448,46

Nota: Tabla que se ilustra el flujo de caja del presente proyecto desde el año de inversión (año 0) hasta el año 5 de la primera alternativa.
Elaborado por: Iván León.

Tabla 7. Flujo de caja correspondiente al año 10 de la primera alternativa.

FLUJO NETO DE EFECTIVO					
descripción	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos (ahorro)	\$ 242.960,35	\$ 252.601,83	\$ 262.625,91	\$ 273.047,78	\$ 283.883,23
Mantenimiento Enlaces PDH	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14
EGRESOS COSTOS OPERATIVOS					
Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
mantenimiento	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
Total egresos	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
Logísticos	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14
servicios básicos	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00
Total gastos administrativos	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14
DEPRECIACIÓN					
Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10%.	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54	\$ 92.728,54
INVERSIÓN					
UTILIDAD	\$ 306.721,94	\$ 316.363,41	\$ 326.387,49	\$ 336.809,37	\$ 347.644,81
FLUJO NETO DE EFECTIVO					
	\$ 306.721,94	\$ 316.363,41	\$ 326.387,49	\$ 336.809,37	\$ 347.644,81

Nota: Tabla que se ilustra el flujo de caja del presente proyecto desde el año 6 hasta el año 10 de la primera alternativa.

Elaborado por: Iván León.

5.3.2 Segunda Alternativa:

Tabla 8. Flujo de caja correspondiente al año 5 segunda alternativa.

FLUJO NETO DE EFECTIVO						
Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (ahorro)		\$ 200.000,00	\$ 207.936,67	\$ 216.188,29	\$ 224.767,36	\$ 233.686,88
Mantenimiento Enlaces PDH		\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14
EGRESOS COSTOS OPERATIVOS						
Equipos	\$ 1.318.894,85	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
mantenimiento	\$ 243.449,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
Total egresos	\$ 1.562.344,49	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
Logísticos	\$ 114.355,00	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14
servicios básicos	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00
Total gastos administrativos	\$ 114.715,00	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14
DEPRECIACIÓN						
Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10%.		\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49
inversión	1677059,49					
UTILIDAD	-1677059,49	\$ 305.750,52	\$ 313.687,18	\$ 321.938,80	\$ 249.367,99	\$ 258.287,51
FLUJO NETO DE EFECTIVO						
	\$(1.677.059,49)	\$ 305.750,52	\$ 313.687,18	\$ 321.938,80	\$ 249.367,99	\$ 258.287,51

Nota: Tabla que se ilustra el flujo de caja del presente proyecto desde el año de inversión (año 0) hasta el año 5 de la segunda alternativa.

Elaborado por: Iván León.

Tabla 9. Flujo de caja correspondiente al año 10 de la segunda alternativa.

FLUJO NETO DE EFECTIVO					
descripción	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos (ahorro)	\$ 242.960,35	\$ 252.601,83	\$ 262.625,91	\$ 273.047,78	\$ 283.883,23
Mantenimiento Enlaces PDH	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14	\$ 242.857,14
EGRESOS COSTOS OPERATIVOS					
Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
mantenimiento	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
Total egresos	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88	\$ 81.149,88
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
Logísticos	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14	\$ 4.857,14
servicios básicos	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00	\$ 360,00
Total gastos administrativos	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14	\$ 5.217,14
DEPRECIACIÓN					
Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10%.	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49	\$ 131.889,49
inversión					
UTILIDAD	\$ 267.560,99	\$ 277.202,46	\$ 287.226,54	\$ 297.648,42	\$ 308.483,86
FLUJO NETO DE EFECTIVO					
	\$ 267.560,99	\$ 277.202,46	\$ 287.226,54	\$ 297.648,42	\$ 308.483,86

Nota: Tabla que se ilustra el flujo de caja del presente proyecto desde el año 6 hasta el año 10 de la segunda alternativa.
Elaborado por: Iván León.

5.4 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método que se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión, este método consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia, expresa una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en n° de unidades monetarias. (Economipedia, 2015)

Para el cálculo del VAN se utiliza la ecuación 5.1:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

Dónde:

F_t =flujos de dinero en cada periodo t

I_0 = inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n= número de periodos de tiempo

k= tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

$$VAN = -1677059,49 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + 0.0823)^{10}}$$

$$\mathbf{VAN_{1alternativa} = \$ 898.859,60}$$

$$\mathbf{VAN_{2alternativa} = \$ 247.181,30}$$

El VAN positivo obtenido representa que el Proyecto está generando más efectivo del que necesita para reembolsar el capital invertido por el COMACO y que genera un monto de \$ 898.859,60 y \$ 49.610,84 respectivamente con lo que la empresa se vería beneficiada ya que sería su ahorro.

5.5 Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. (Economipedia, 2015)

La TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad \text{Ecuación (5.2)}$$

Dónde:

F_t =flujos de dinero en cada periodo t

I_0 = inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n= número de periodos de tiempo

Para este cálculo de la TIR se considera un porcentaje de 8.23% correspondiente a la tasa activa para instituciones públicas tomado de datos del Banco Central del Ecuador. (BCE, Banco Central del Ecuador, 2016)

$$TIR_{1\text{alternativa}}=22\%$$

$$TIR_{2\text{alternativa}}=11\%$$

El valor de la tasa interna de retorno obtenida, es mayor respecto a la tasa activa para las instituciones públicas, lo que refleja que el presente Proyecto es viable y rentable para el COMACO.

5.6 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El PRI mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión, es decir, revela la fecha en la cual se cubre la inversión inicial realizada ya sea en años, meses y días. Para el cálculo se utiliza la ecuación 5.3:

$$PRI = a + \frac{c}{F_c} \quad \text{Ecuación (5.3)}$$

Dónde:

a= Año anterior a la recuperación total, se suman los Flujos de Caja a partir del año 0, hasta que el valor obtenido sea positivo.

c=Costo no recuperado al principio del año

F_c= Flujo de Caja durante el año

Para cuestiones de cálculo se optó por poner la nomenclatura 1 para la primera y 2 para la segunda alternativa.

Año anterior a la recuperación total:

$$\begin{aligned} a1 &= -1285449,99 + 344.911,47 + 352.848,13 + 361.099,75 + 288.528,94 \\ &= \$ 61.938,30 \end{aligned}$$

Como el valor obtenido se hace positivo al cuarto año, representa que el año anterior a la recuperación total va a ser el tercer año.

$$\begin{aligned} a2 &= -1677059,49 + 276.000,52 + 283.937,18 + 292.188,80 + 219.617,99 + \\ &228.537,51 + 237.810,99 = \$ 39.533,50 \end{aligned}$$

Como el valor obtenido se hace positivo al sexto año, representa que el año anterior a la recuperación total va a ser el quinto año.

Costo no recuperado al principio del año:

Como el año anterior a la recuperación total es el tercer año, se tiene un costo acumulado no recuperado a partir del año 0, como se muestra a continuación:

$$c1 = -1285449,99 + 344.911,47 + 352.848,13 + 361.099,75 = - (\$ 226.590,64)$$

Para la segunda alternativa se tiene que:

$$\begin{aligned} c2 &= -1677059,49 + 276.000,52 + 283.937,18 + 292.188,80 + 219.617,99 \\ &+ 228.537,51 = - (\$ 228.027,49) \end{aligned}$$

Flujo de Caja durante el año:

Como se observa la Tabla 6, el Flujo de Caja anual correspondiente al cuarto año de la primera alternativa es de: \$ 288.528,94. Mientras que para la segunda alternativa

se toma el valor del Flujo de Caja anual al sexto año el cual se lo encuentra en la Tabla 9, y cuyo valor es de: \$ 267.560,99

Remplazando todos los datos encontrados se tiene que el periodo de recuperación de la inversión es:

$$PIR1 = 3 + \frac{(226.590,64)}{288.528,94} = 3,79 \text{ Años}$$

$$PIR2 = 5 + \frac{(228.027,49)}{267.560,99} = 5.85 \text{ Años}$$

CONCLUSIONES

1. Debido a que los enlaces que conforman el sistema de comunicaciones del COMACO utilizan tecnología de microondas, la implementación de una red troncal de fibra óptica permitirá resolver los problemas relacionados principalmente con la saturación de los enlaces y las condiciones climáticas que afectan la transmisión en dicha tecnología.
2. Aun cuando la segunda alternativa planteada en el presente proyecto, implica usar una mayor longitud de fibra, su inversión se compensa desde el punto de vista operativo al permitir la inclusión de dos Centros de Apoyo Electrónico (CAE) en las ciudades de Cuenca y Machala, permitiendo una gestión adecuada de la información lo cual es trascendental para las FFAA.
3. A partir de las simulaciones realizadas se determinó que el tercer canal es el más fiable en casi todos los tramos de las dos alternativas debido a que posee las características mínimas presentes en las consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos que maneja la UIT-T en su recomendación de la serie G– Suplemento 39.
4. Los canales seleccionados en la simulación presentaron valores que superan los valores mínimos permitidos de BER y Jitter, lo cual asegura una óptima transmisión entre los puntos extremos y además permite configurarlos para soportar cualquier aplicación que requiera condiciones de seguridad y fiabilidad específicas.
5. Una vez realizado el flujo de caja con sus respectivos indicadores de rentabilidad óptimos, la recuperación de la inversión necesaria para la implementación de las 2 alternativas presentadas se define como viable, en un tiempo aproximado de 3 y 5 años respectivamente.
6. Conforme al análisis económico de la inversión realizada en el proyecto, se concluye que la primera alternativa podría ser doblemente rentable ya que presenta una Tasa Interna de Retorno del 22% con respecto al 11% de la segunda. Generalmente el mayor valor esperado para este tipo de proyectos por una empresa pública es de 8.23% para un período de 10 años, dando un valor actual neto mayor a cero, \$ 898.859,60 y \$ 247.181,30

respectivamente, por lo tanto se observa que en el tiempo calculado el ahorro superará a los gastos que se presentan actualmente al no poseer el COMACO su propia red de fibra óptica.

RECOMENDACIONES

1. Considerando el impacto del presente proyecto, se sugiere analizar la posibilidad de expandir el diseño y alcance de la red óptica para cubrir otros puntos estratégicos y de relevancia para el COMACO tales como los repartos militares de las ciudades del Coca en el Oriente y Esmeraldas en la Costa.
2. El tendido del cable de fibra óptica y la instalación de los equipos previstos en el presente proyecto requieren de sólidos conocimientos en el manejo de medios ópticos, por ello su implementación debe realizarse por personal técnico calificado, a fin de cumplir con todas las especificaciones internacionales y normas técnicas dadas por el fabricante.
3. Debido a la importancia del proyecto, el Grupo de telecomunicaciones (Grutel) que es el personal encargado del sistema de comunicaciones del COMACO, requeriría de una capacitación técnica especializada por parte de la empresa Huawei que se consideró como la mejor proveedora de los equipos que serán utilizados en la red diseñada.
4. Para que exista un correcto funcionamiento de la red, se debe realizar un mantenimiento periódico en el sistema de transmisión, así como en las instalaciones de los equipos ópticos, permitiendo de esta manera que exista un alto grado de confiabilidad del sistema para evitar errores en el futuro.
5. En caso de requerir la implementación de servicios que demanden un mayor ancho de banda o más canales, se recomienda usar tarjetas electrónicas extras en el equipo OSN OptiX 8800, el mismo que gracias a sus características soporta sin dificultad la integración de elementos ópticos adicionales.

REFERENCIAS

- Albán, T., & Vásquez, C. A. (21 de Marzo de 2013). *Repositorio digital de la Universidad Técnica del Norte*. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de Diseño de una Red OTN Soportada en la Red de Transporte DWDM Para CELEC EP-TRANSELECTRIC:
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1947/1/04%20RED%20025%20%20ARCHIVO%20T%C3%89CNICO.pdf>
- Arévalo, G. (2015). *Transmisores Ópticos*. (G. Arévalo, Intérprete) Quito, Pichincha, Ecuador.
- Astudillo, J. J., & Ramírez, E. Y. (Abril de 2014). Manual para la Caracterización de la Fibra Óptica en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Cuenca, Azuay, Ecuador.
- BCE. (2016). *Banco Central del Ecuador*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de Tasas de Interés del Ecuador Banco Central del Ecuador:
<http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- BCE. (2016). *Banco Central del Ecuador*. Recuperado el 14 de Abril de 2016, de <http://www.bce.fin.ec/>:
http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion
- Caiza Alomoto, K. F. (Febrero de 2008). *Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el 19 de Diciembre de 2015, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4153>
- Castro, S. (17 de Mayo de 2014). *Fibra óptica y las voces de la región - El Vigía*. Recuperado el 08 de Enero de 2016, de <http://www.elvigia.net/c-t/2014/5/17/fibra-optica-voces-region-158481.html>
- Ciena. (2016). *Ciena - Red de transporte óptico (OTN)*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de Ciena.es: <http://www.ciena.es/technology/optical-transport-network/>
- Comando Conjunto de las FF.AA. (26 de Junio de 2014). *Comando Conjunto de las FF.AA: RESEÑA HISTÓRICA*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2015, de <https://www.ccffaa.mil.ec/index.php/institucion/historia>
- Congreso Nacional. (28 de Septiembre de 2009). Ley Orgánica de la defensa Nacional. Quito, Pichincha, Ecuador.

- Cuéllar, G. (s.f.). *Universidad del Cauca*. Recuperado el 6 de Mayo de 2016, de REDES Y TELECOMUNICACIONES COMPONENTES Y FUNCIONES DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES: <http://fccea.unicauca.edu.co/old/redes.htm>
- Del Valle, J., Dupré, J., & Parra, C. (2002). *Aplicaciones - Fibra Óptica*. Recuperado el 03 de Enero de 2016, de <http://www2.udec.cl/~jdupre/fibra/apli.html>
- Economipedia. (2015). *economipedia.com haciendo facil la economia*. Recuperado el 14 de Abril de 2016, de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- FF.AA, C. C. (s.f.). Reglamento RT-3IV Modificado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Harteneck, S. (s.f.). *Universidad de Palermo Facultad de Diseño y Comunicacion*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/21504_71747.pdf
- Hernandez, E. (Agosto de 2013). *blogs.fad.unam.mx*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de http://blogs.fad.unam.mx/asignatura/elva_hernandez/wp-content/uploads/2013/08/teoria-de-los-colores-luz-y-tipos-de-luz-e.pdf
- Huawei. (s.f.). *Huawei.com*. Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de <http://www1.huawei.com/en/products/transport-network/wdm-otn/osn8800/index.htm>
- ILCE. (s.f.). *Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE)*. Recuperado el 6 de Mayo de 2016, de REDES DE TELECOMUNICACIONES: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/149/htm/sec_8.htm
- ITU-T. (13 de Noviembre de 2009). *G.655 : Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, de Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/es>
- Laferrière, J., Lietaert, G., Taws, R., & Wolszczak, S. (2011). *Reference Guide to Fiber Optic Testing*. Milpitas: JDSU.
- Macas, L., & Cartagena, E. (2010). *Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2015, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/614/1/38T00229.pdf>

- Proaño, A. (Enero de 2012). *Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2015, de http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/859/1/Tesis_t671ec.pdf
- Radioenlace. (19 de Diciembre de 2014). *Radioenlace Tipos de fibra optica Monomodo y Multimodo*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2015, de <http://www.radio-enlace.com/tipos-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo/>
- Radioenlace. (8 de Enero de 2015). *Tipos de fibra OM1, OM2, OM3, OM4, OM5, OS1, OS2*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2015, de <http://www.radio-enlace.com/tipos-de-fibra-om1-om2-om3-om4-om5-os1-os2/>
- Reyes Herrera, A. (12 de Abril de 2012). *elementos de un sistema de telecomunicaciones - Sites - Google*. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES: <https://sites.google.com/site/educaarh/elementos-de-un-sistema-de-telecomunicaciones>
- Synopsys®. (s.f.). *OptSim Product Overview*. Recuperado el 7 de Abril de 2016, de <https://optics.synopsys.com/rsoft/rsoft-system-network-optsim.html>
- UIT-T. (2006). *Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos*. Recuperado el 7 de Mayo de 2016, de Recomendaciones UIT-T de la serie G – Suplemento 39 : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.Sup39-200602-S!!PDF-S&type=items.
- UIT-T. (13 de Febrero de 2012). *G.694.1 : Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa*. Recuperado el 30 de Enero de 2016, de Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/es>
- VILLALBA NOVOA, P. V. (Junio de 2015). GERENCIA DE TECNOLOGÍAS DE SIMULADORES DE POLÍGONOS DE TIRO. Quito, Pichincha, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones fibra G.655 de la recomendación ITU-T G.655
(Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable)

Examples for $\lambda_{\min} = 1530$ nm and $\lambda_{\max} = 1565$ nm

Example ID	D_{\min} (ps/nm•km)	D_{\max} (ps/nm•km)	Sign	Typical dispersion coefficient at 1550 nm (ps/nm•km)	Typical dispersion slope at 1550 nm (ps/nm ² •km)
A	1.3	5.8	+	3.7	0.070
B	2.0	6.0	+	4.2	0.085
C	2.6	6.0	+	4.4	0.045
D	5.0	10.0	+	8.0	0.058
E	1.0	6.0	–	–2.3	0.065

NOTE – Corresponding values of chromatic dispersion for the 1600 nm wavelength region are under consideration.

Link attenuation values

Attenuation coefficient	Wavelength region	Typical link value
(Note)	1530-1565 nm	0.275 dB/km
	1565-1625 nm	0.35 dB/km

NOTE – Typical link value corresponds to the link attenuation coefficient used in [b-ITU-T G.957] and [b-ITU-T G.692].

Anexo 2. Cálculos generales para el enlace de fibra óptica

Numero de empalmes

Se considera una longitud máxima de 50 Km por carrete de fibra.

$$N_{eGYE-PALLATANGA} = \frac{140}{50} = 2.8$$

$$N_{ePALLATANGA-RIOBAMBA} = \frac{85}{50} = 1.7$$

$$N_{eRIOBAMBA-AMBATO} = \frac{65}{50} = 1.3$$

$$N_{eAMBATO-MACHACHI} = \frac{108}{50} = 2.16$$

$$N_{eMACHACHI-UIO} = \frac{40}{50} = 0.8 \text{ ningun empalme}$$

Segunda Alternativa

$$N_{eGYE-MACHALA} = \frac{192}{50} = 3.84$$

$$N_{eMACHALA-CUENCA} = \frac{170}{50} = 3.4$$

$$N_{eCUENCA-ELTAMBO} = \frac{100}{50} = 2$$

$$N_{eELTAMBO-RIOBAMBA} = \frac{175}{50} = 3.5$$

Ancho de banda del enlace

$$AB_{Enlace} = \frac{0.44}{(438)(3.7)(0.88)} = 308.528Mbps$$

$$AB_{Enlace2alternativa} = \frac{0.44}{(850)(3.7)(0.88)} = 158.98Mbps$$

Potencia De recepcion

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

$$P_R = 0 - 2(0.2) - 0.1 - 438 \left(0.24 + \frac{0.05}{4} + \frac{1}{50} \right) = -119.855dBm$$

$$P_{R-2ALTERNATIVA} = 0 - 2(0.2) - 0.1 - 850 \left(0.24 + \frac{0.05}{4} + \frac{1}{50} \right) = -232.125dBm$$

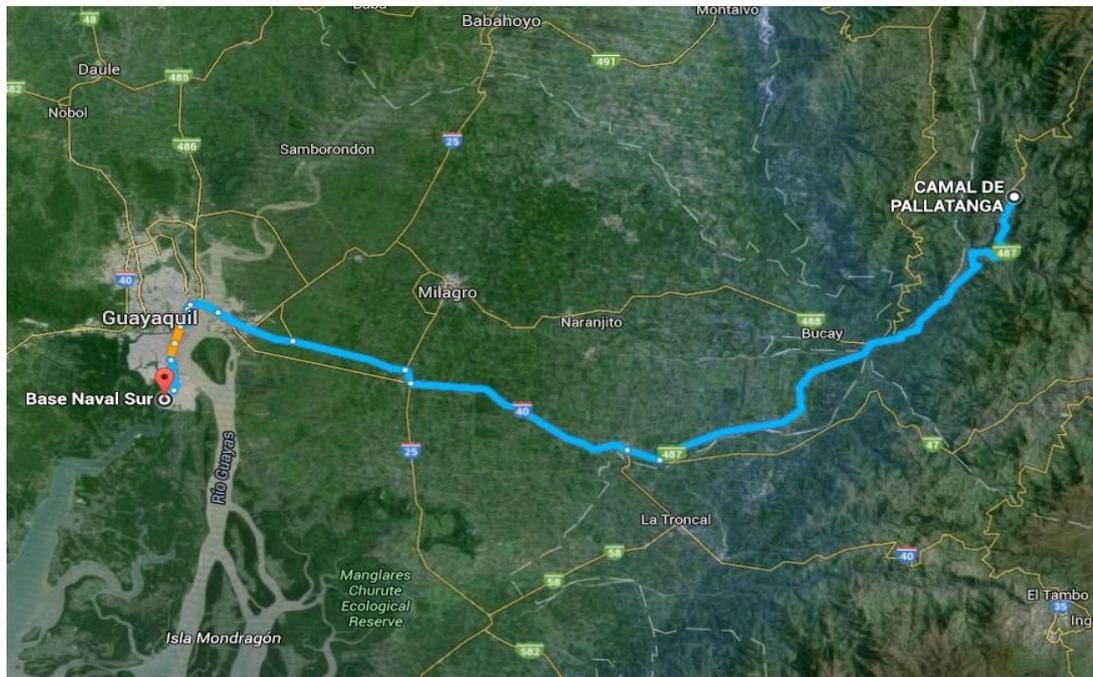
Anexo 3. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid

Nominal central frequencies (THz) for spacings of:				Approximate nominal central wavelengths (nm) (Note)
12.5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz and above	
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
195.9375	–	–	–	1530.0413
195.9250	195.925	–	–	1530.1389
195.9125	–	–	–	1530.2365
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.3341
195.8875	–	–	–	1530.4318
195.8750	195.875	–	–	1530.5295
195.8625	–	–	–	1530.6271
195.8500	195.850	195.85	–	1530.7248
195.8375	–	–	–	1530.8225
195.8250	195.825	–	–	1530.9203
195.8125	–	–	–	1531.0180
195.8000	195.800	195.80	195.8	1531.1157
195.7875	–	–	–	1531.2135
195.7750	195.775	–	–	1531.3112
195.7625	–	–	–	1531.4090
195.7500	195.750	195.75	–	1531.5068
195.7375	–	–	–	1531.6046
195.7250	195.725	–	–	1531.7024
195.7125	–	–	–	1531.8003
195.7000	195.700	195.70	195.7	1531.8981
195.6875	–	–	–	1531.9960
195.6750	195.675	–	–	1532.0938
195.6625	–	–	–	1532.1917
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

•	•	•	•	•
193.2375	–	–	–	1551.4197
193.2250	193.225	–	–	1551.5200
193.2125	–	–	–	1551.6204
193.2000	193.200	193.20	193.2	1551.7208
193.1875	–	–	–	1551.8212
193.1750	193.175	–	–	1551.9216
193.1625	–	–	–	1552.0220
193.1500	193.150	193.15	–	1552.1225
193.1375	–	–	–	1552.2229
193.1250	193.125	–	–	1552.3234
193.1125	–	–	–	1552.4239
193.1000	193.100	193.10	193.1	1552.5244
193.0875	–	–	–	1552.6249
193.0750	193.075	–	–	1552.7254
193.0625	–	–	–	1552.8259
193.0500	193.050	193.05	–	1552.9265
193.0375	–	–	–	1553.0270
193.0250	193.025	–	–	1553.1276
193.0125	–	–	–	1553.2282
193.0000	193.000	193.00	193.0	1553.3288
192.9875	–	–	–	1553.4294
192.9750	192.975	–	–	1553.5300
192.9625	–	–	–	1553.6307
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
184.7750	184.775	–	–	1622.4731
184.7625	–	–	–	1622.5828
184.7500	184.750	184.75	–	1622.6926
184.7375	–	–	–	1622.8024
184.7250	184.725	–	–	1622.9122
184.7125	–	–	–	1623.0220
184.7000	184.700	184.70	184.7	1623.1319
184.6875	–	–	–	1623.2417
184.6750	184.675	–	–	1623.3516

184.6625	–	–	–	1623.4615
184.6500	184.650	184.65	–	1623.5714
184.6375	–	–	–	1623.6813
184.6250	184.625	–	–	1623.7912
184.6125	–	–	–	1623.9012
184.6000	184.600	184.60	184.6	1624.0111
184.5875	–	–	–	1624.1211
184.5750	184.575	–	–	1624.2311
184.5625	–	–	–	1624.3411
184.5500	184.550	184.55	–	1624.4511
184.5375	–	–	–	1624.5612
184.5250	184.525	–	–	1624.6712
184.5125	–	–	–	1624.7813
184.5000	184.500	184.50	184.5	1624.8914
NOTE – The wavelengths given in this table are approximations only. The specifications applied to DWDM applications are defined with respect to the nominal central frequencies and not the approximate wavelengths.				

Anexo 4. Tramo Guayaquil – Pallatanga.



Mapa del trayecto Guayaquil Pallatanga, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 5. Esquema técnico del tramo Guayaquil - Pallatanga.

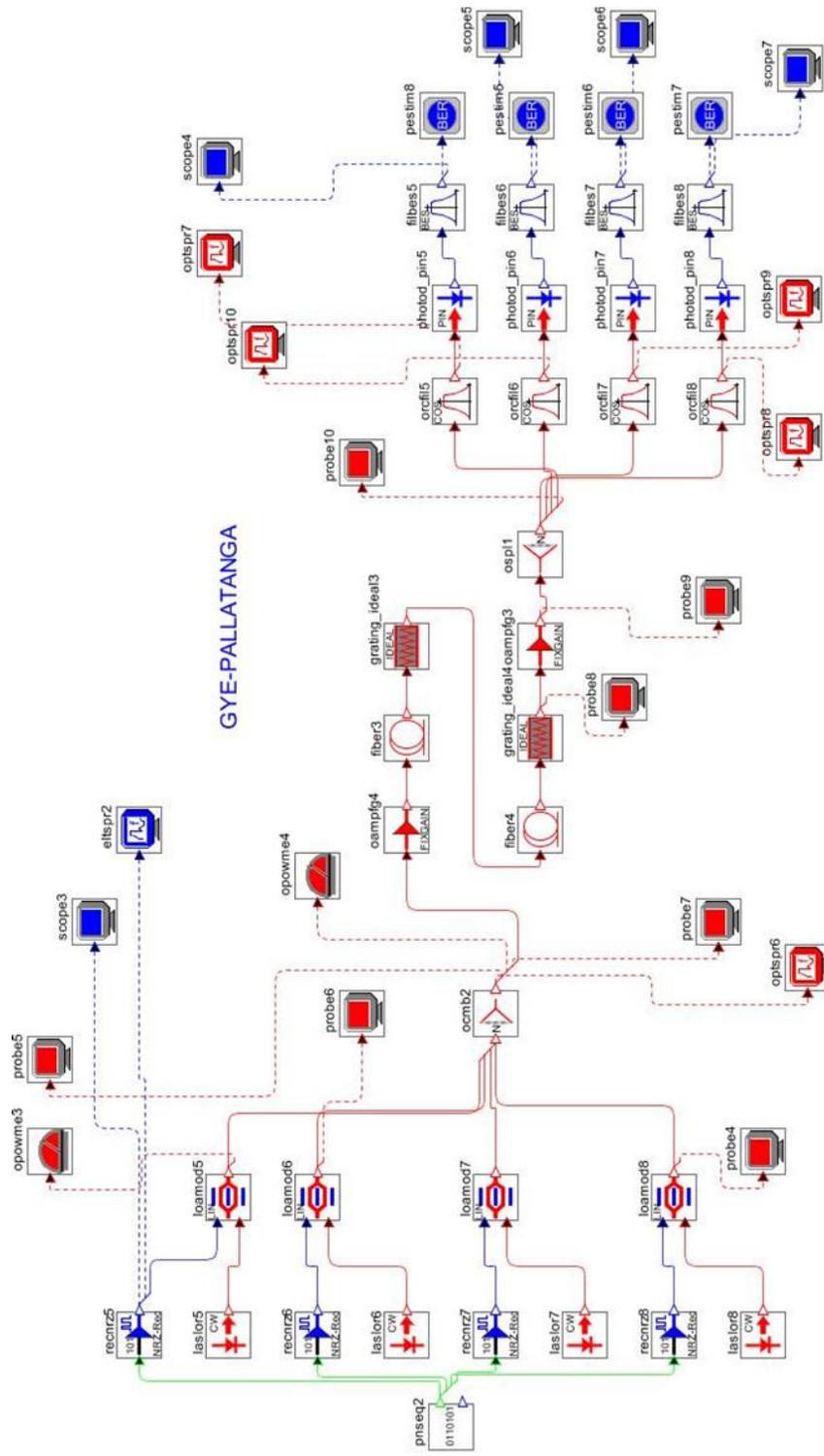
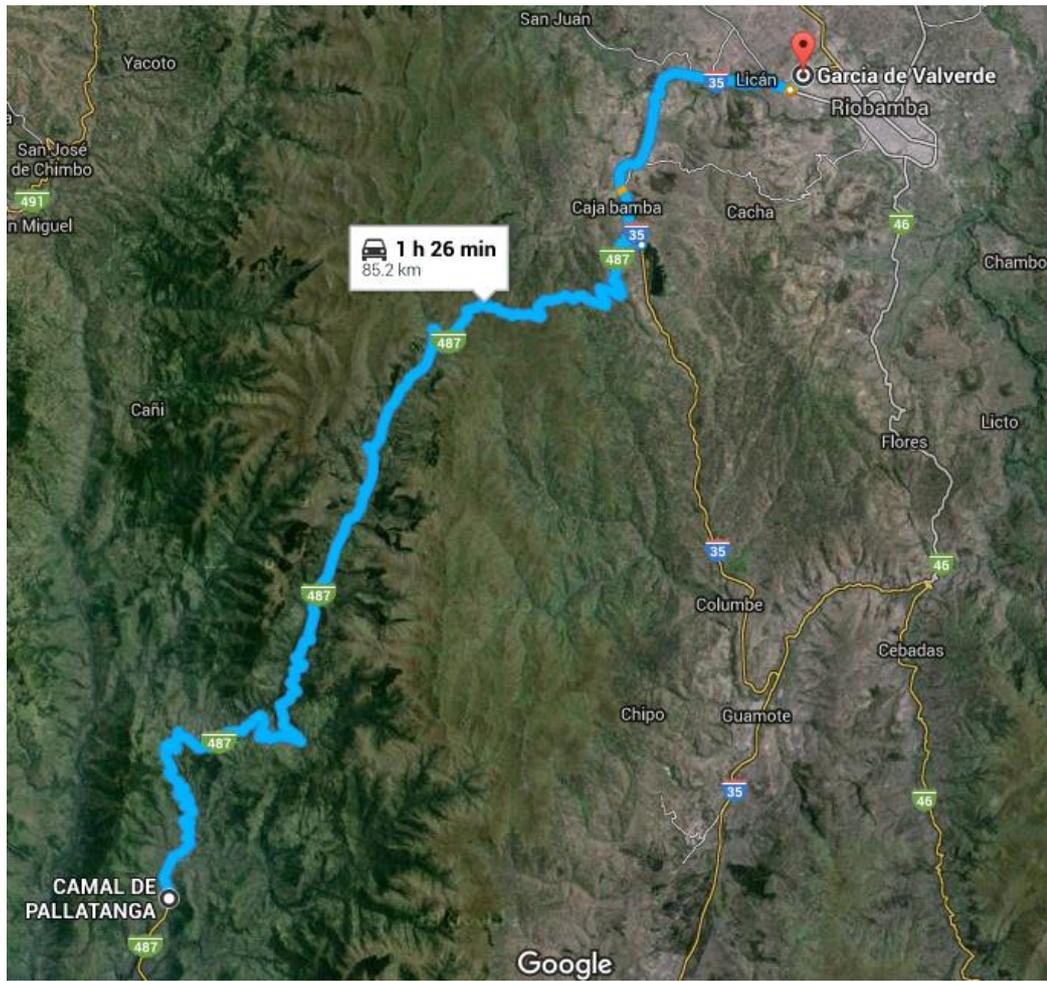


Diagrama esquemático del trayecto Guayaquil Pallatanga, Elaborado por: Iván León.

Anexo 6. Mapa del tramo Pallatanga - Riobamba.



Mapa del trayecto Pallatanga Riobamba, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 7. Esquema del tramo Pallatanga Riobamba.

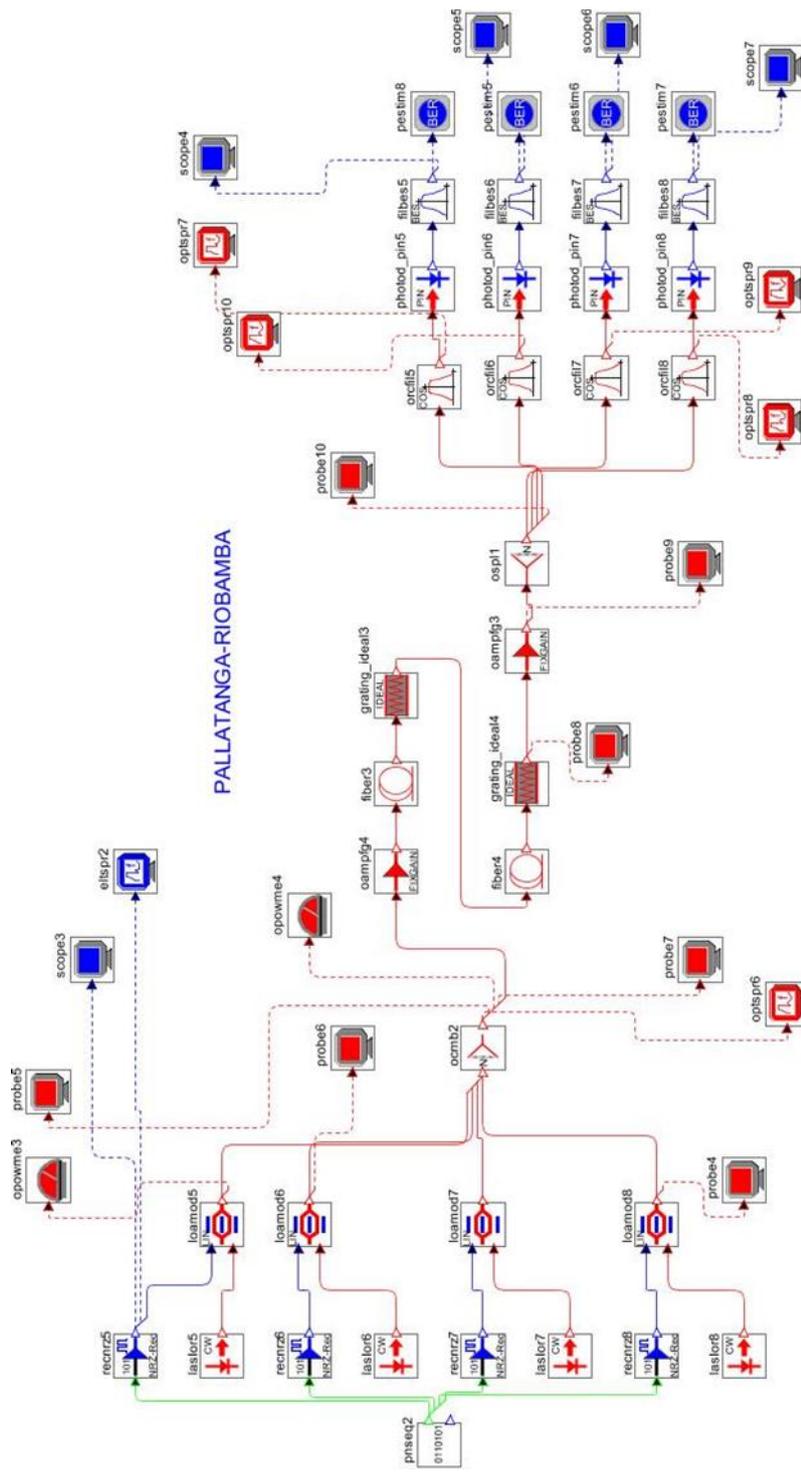
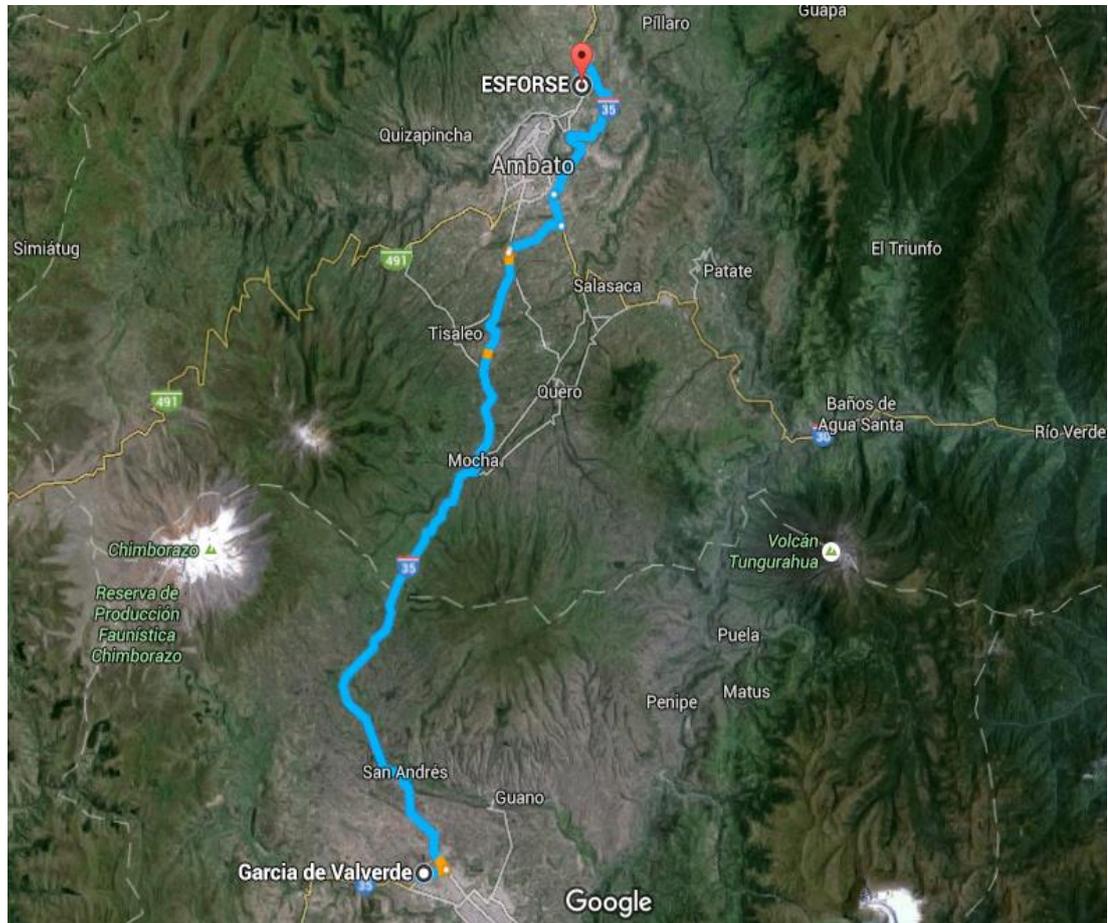


Diagrama esquemático del trayecto Pallatanga Riobamba, Elaborado por: Iván León.

Anexo 8. Mapa del tramo Riobamba - Ambato.



Mapa del trayecto Riobamba - Ambato, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 9. Esquema del tramo Riobamba Ambato.

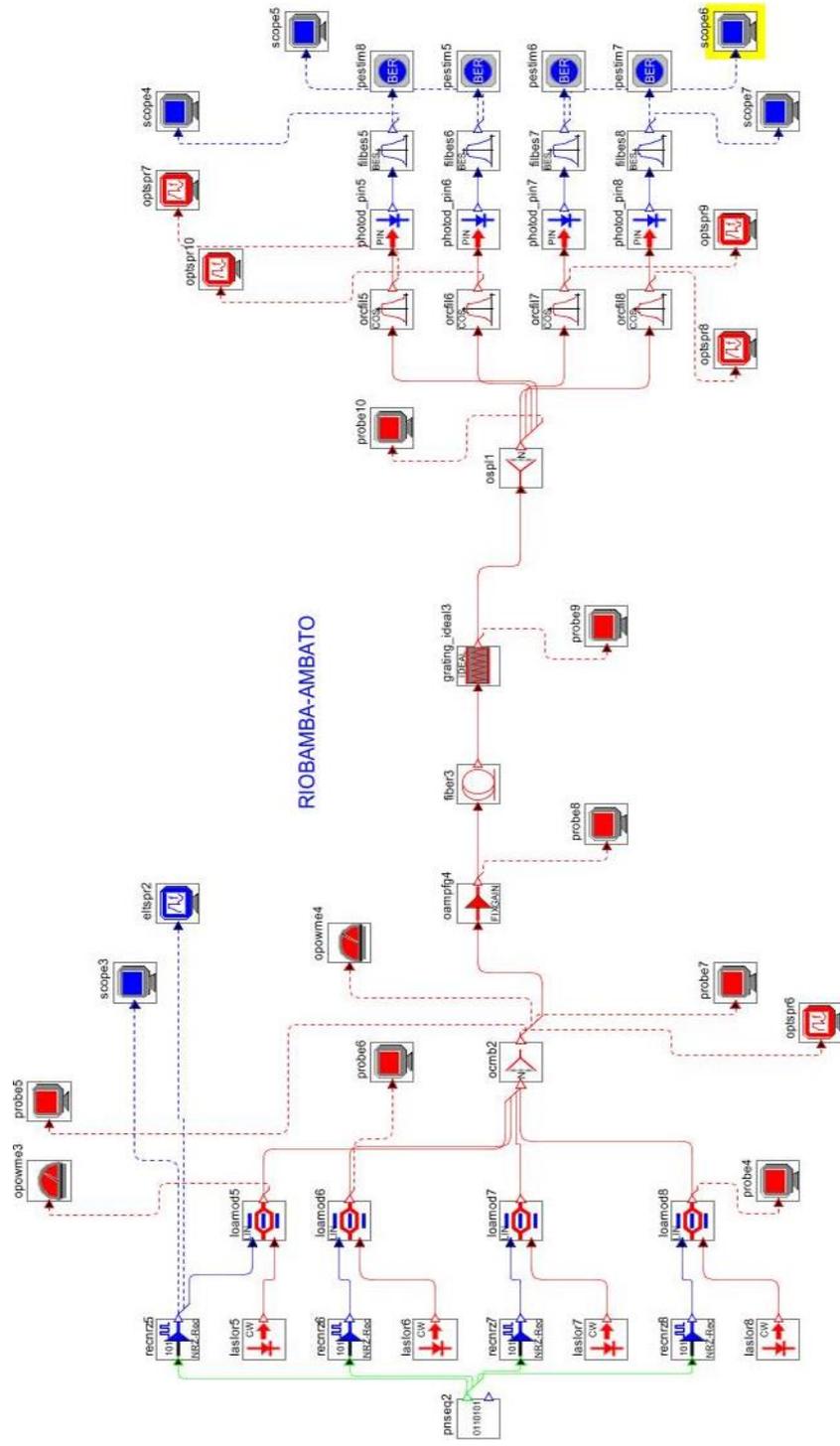
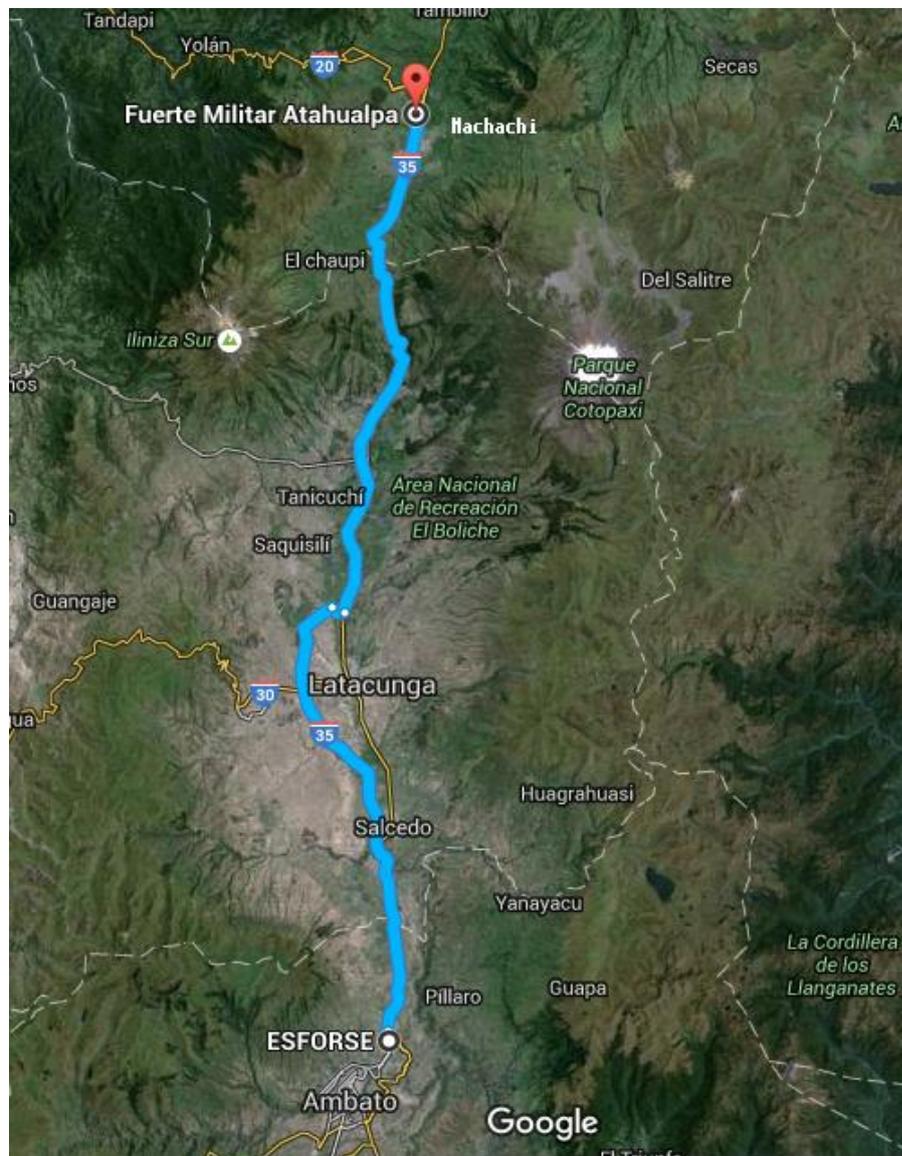


Diagrama esquemático del trayecto Riobamba Ambato, Elaborado por: Iván León.

Anexo 10. Mapa del tramo Ambato - Machachi.



Mapa del trayecto Ambato Machachi, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 11. Esquema del tramo Ambato Machachi.

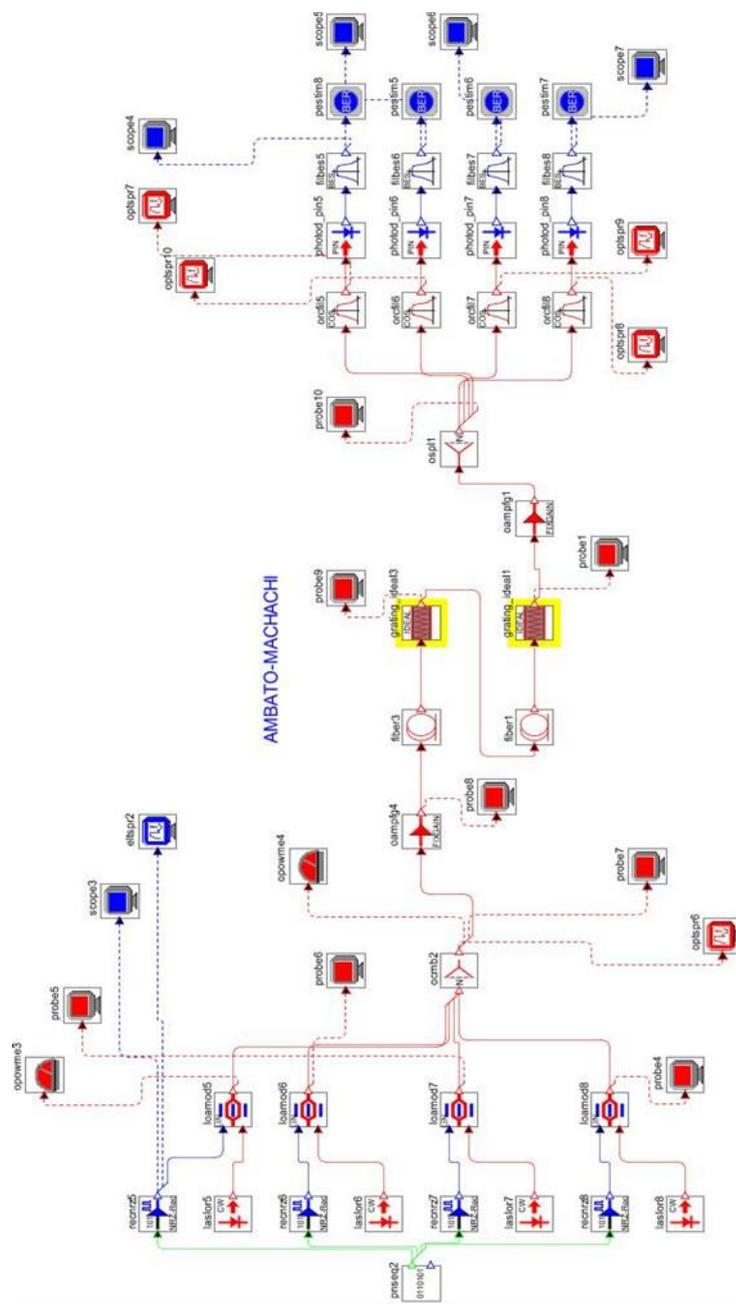
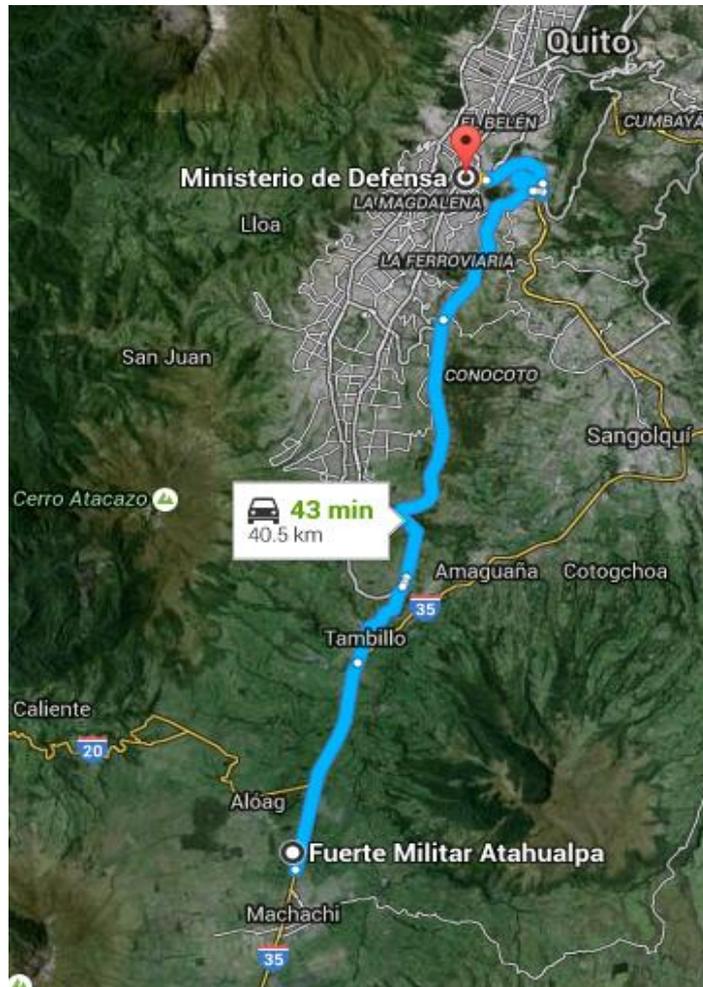


Diagrama esquemático del trayecto Ambato Machachi, Elaborado por: Iván León.

Anexo 12. Mapa del tramo Machachi - Quito.



Mapa del trayecto Machachi Quito, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 13. Esquema del tramo Machachi Quito.

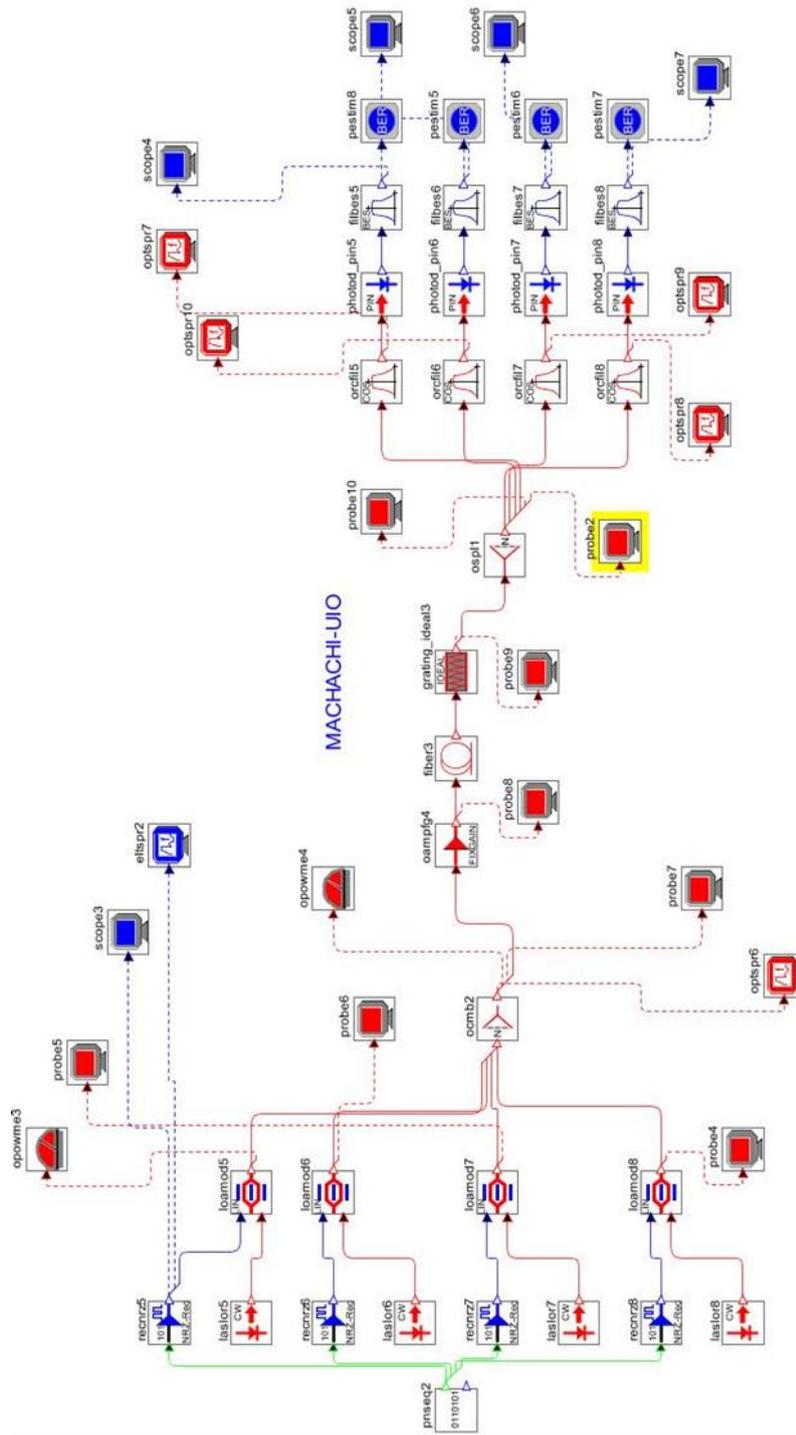
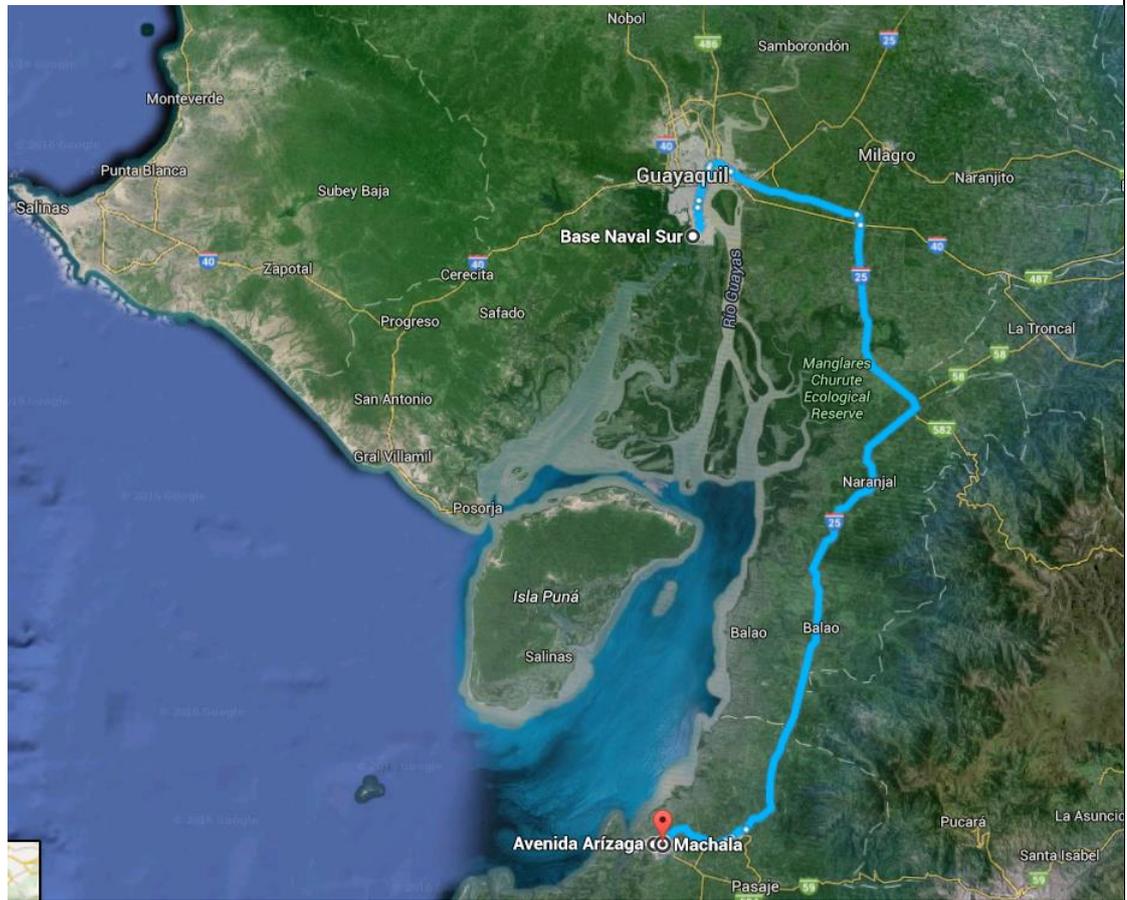


Diagrama esquemático del trayecto Machachi Quito, Elaborado por: Iván León.

Anexo 14. Mapa del tramo Guayaquil – Machala.



Mapa del Ecuador del trayecto Guayaquil Machala, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 15. Esquema del tramo Guayaquil – Machala.

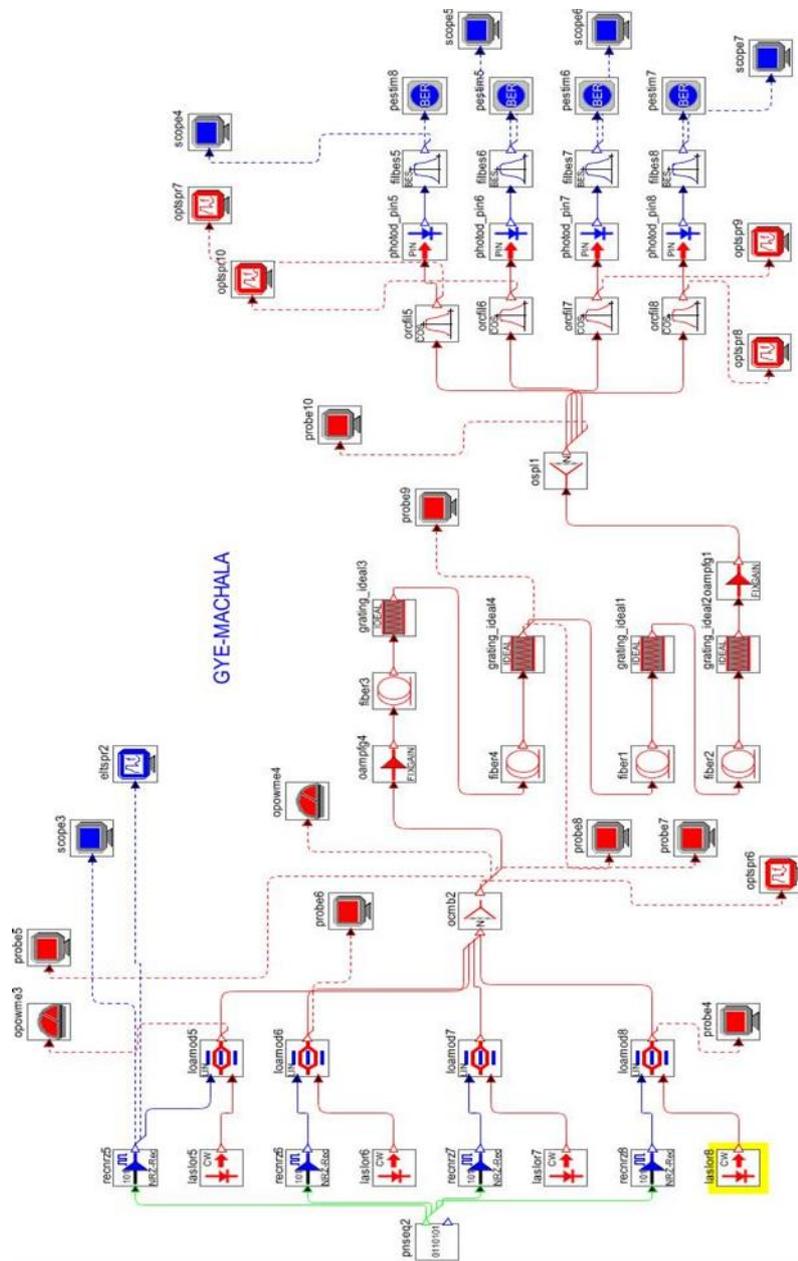
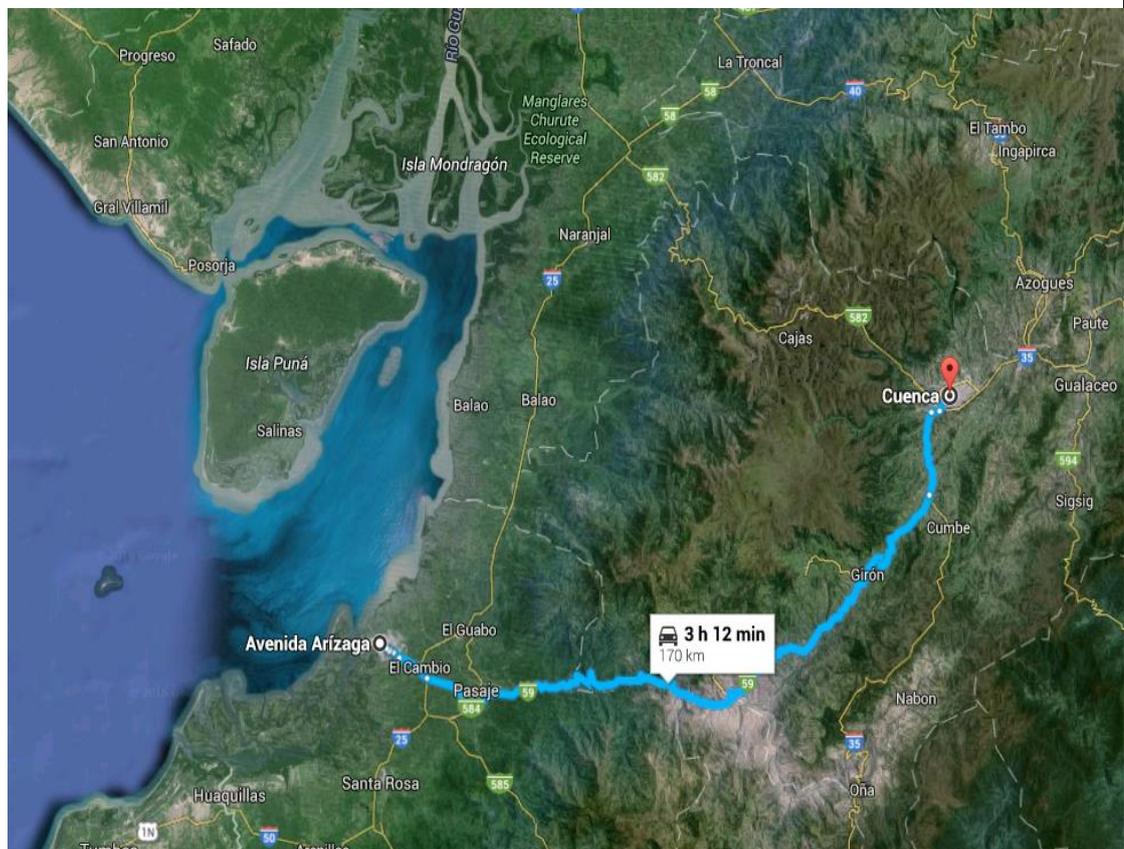


Diagrama Esquemático del trayecto Guayaquil Machala, Elaborado por: Iván León.

Anexo 16. Mapa del tramo Machala - Cuenca.



Mapa del Ecuador con el trayecto Machala Cuenca, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 17. Esquema del tramo Machala - Cuenca.

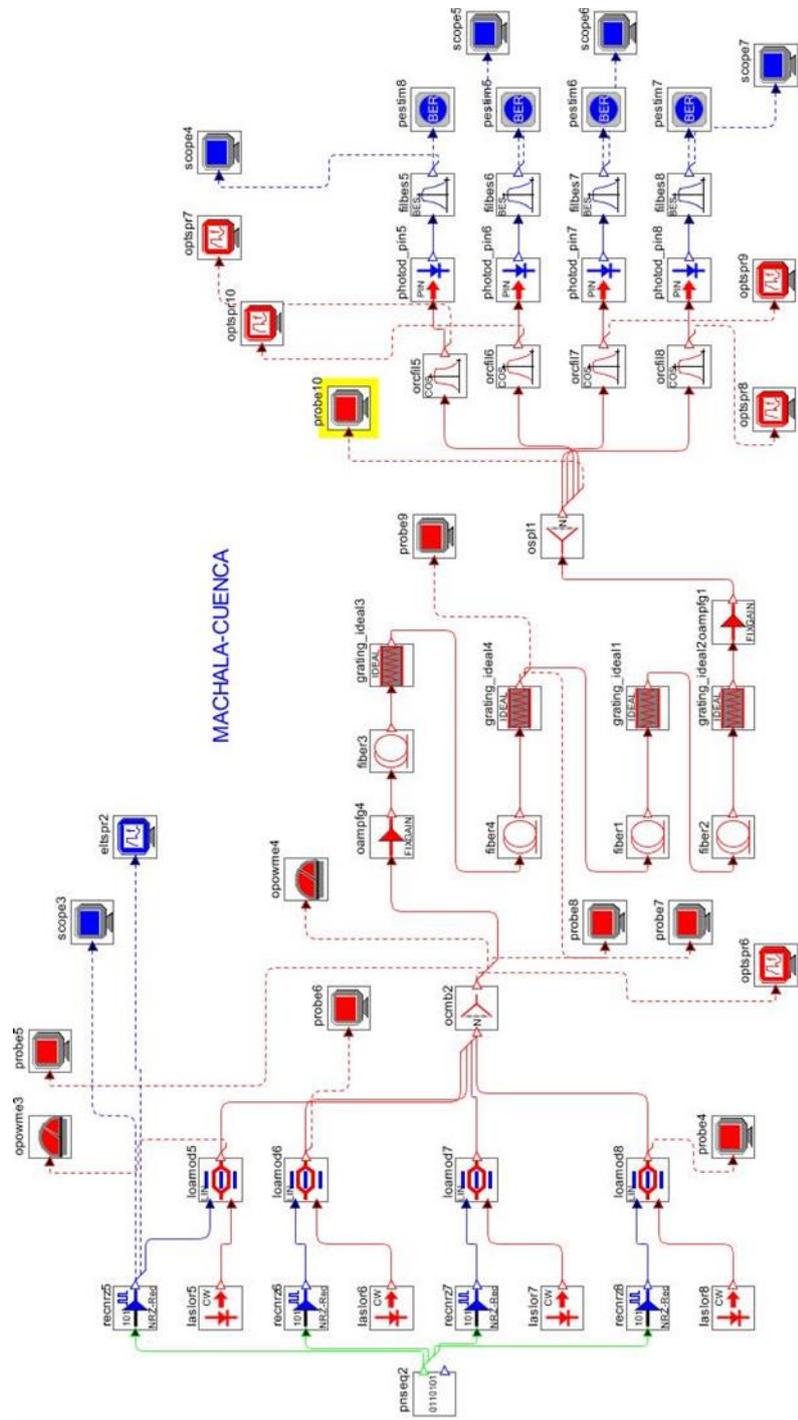


Diagrama Esquemático del trayecto Machala Cuenca, Elaborado por: Iván León.

Anexo 18. Mapa del tramo Cuenca - Tambo.



Mapa del Ecuador con el trayecto Cuenca Tambo, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 19. Esquema del tramo Cuenca - Tambo.

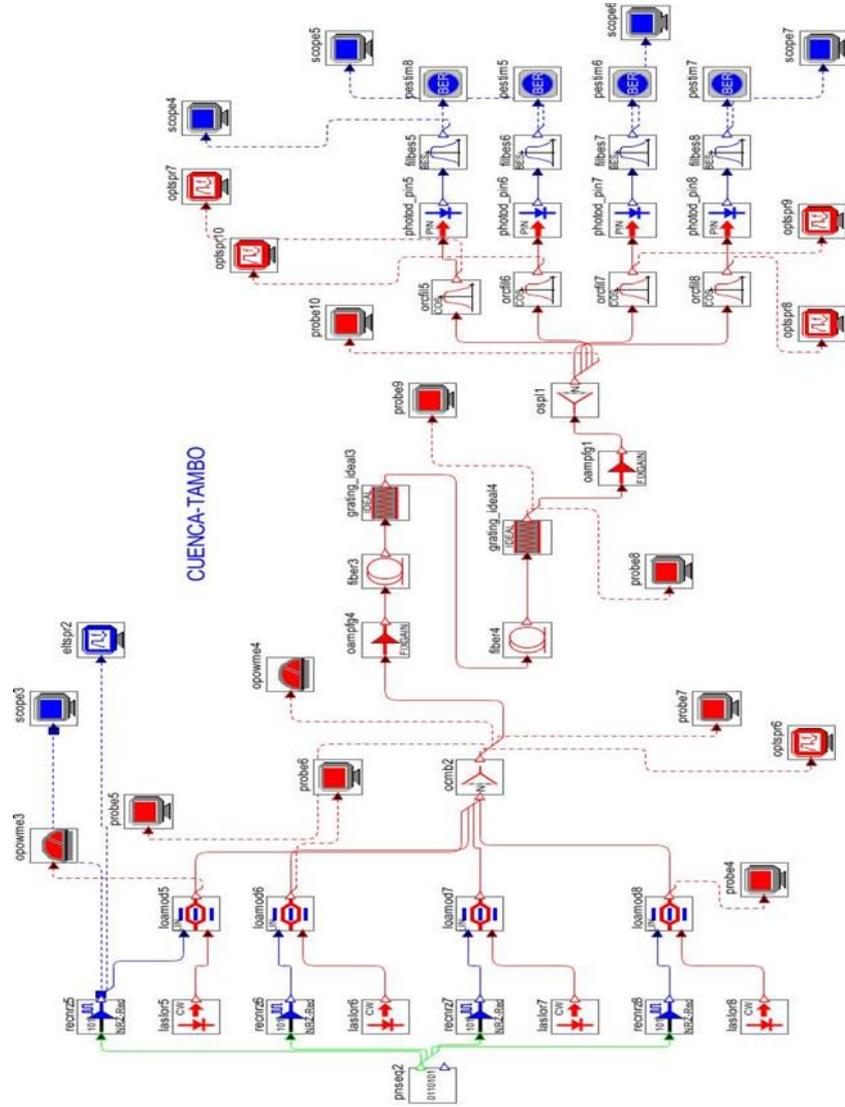
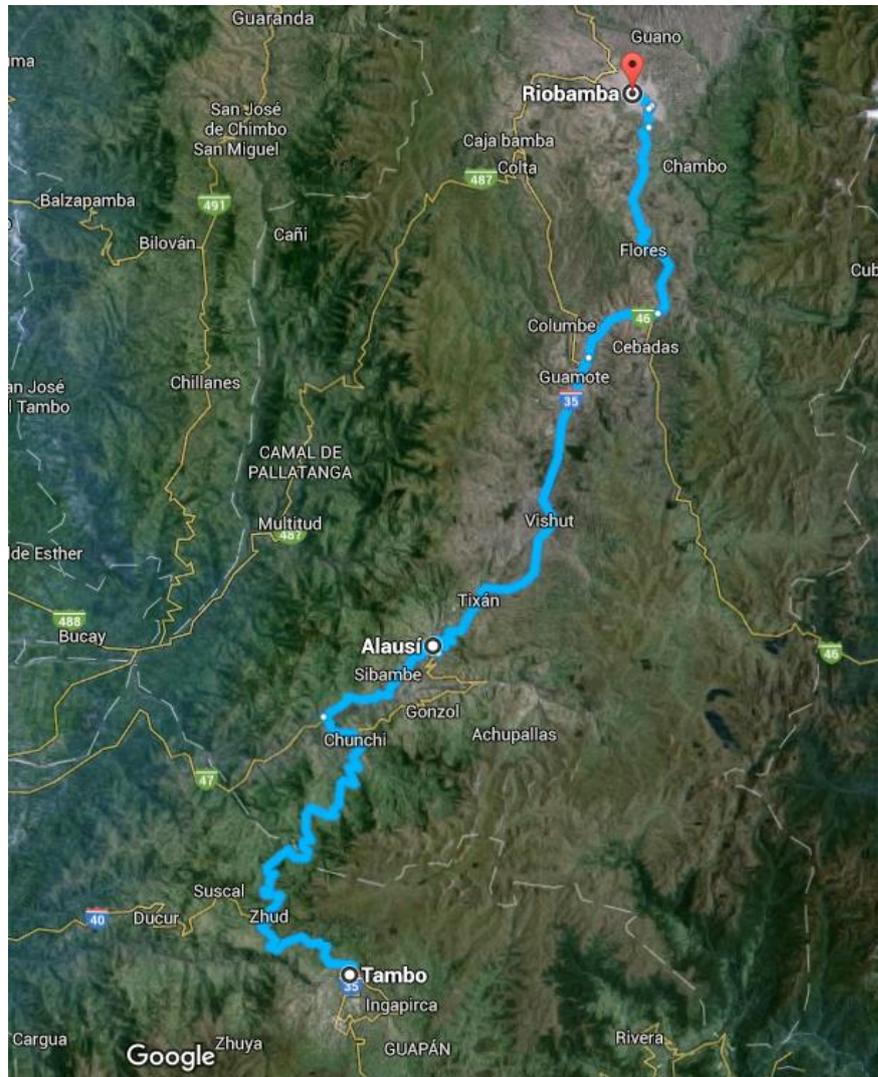


Diagrama Esquemático del trayecto Cuenca Tambo, Elaborado por: Iván León.

Anexo 20. Mapa del tramo Tambo Riobamba.



Mapa del Ecuador con el trayecto Tambo Riobamba, Elaborado por: Iván León, Fuente: Google Earth.

Anexo 21. Esquema del tramo Tambo Riobamba.

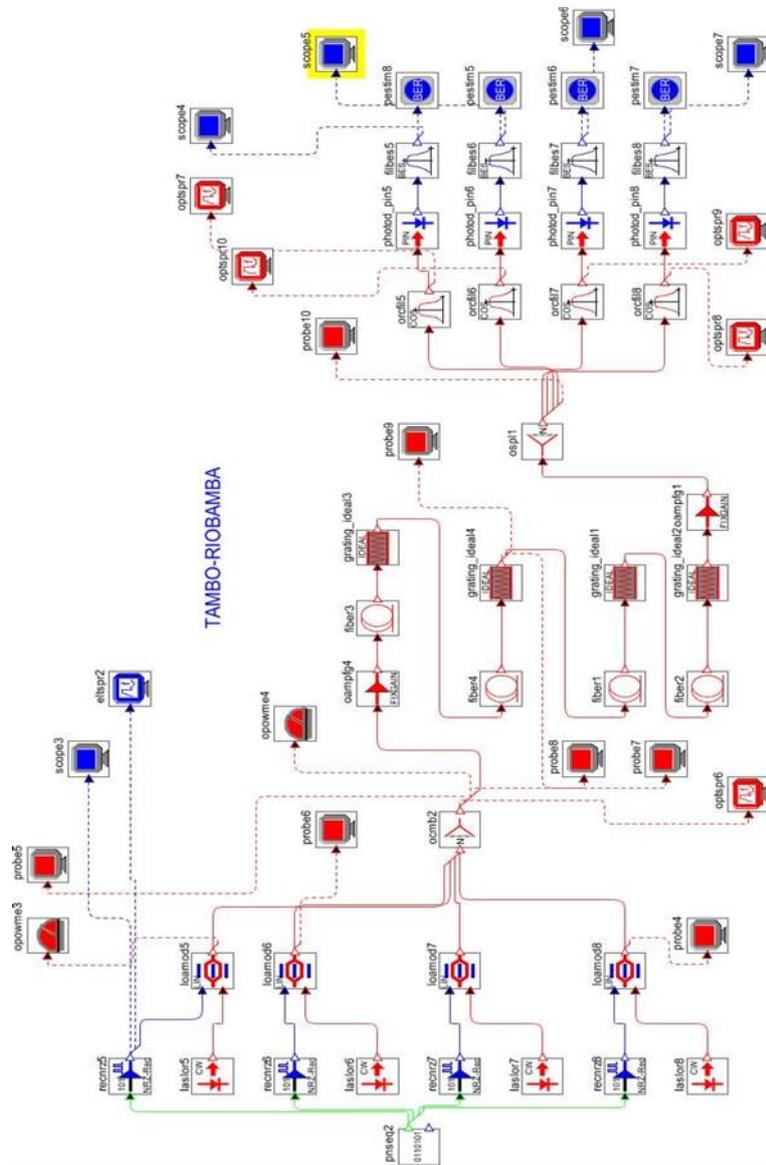


Diagrama Esquemático del trayecto Tambo Riobamba, Elaborado por: Iván León.

Anexo 22. Resumen de los valores del capítulo 4

En las tablas 1 y 2 se aprecia el resumen de los valores simulados en los cuales sirven para el análisis de la mejor alternativa.

Tabla 1: Resumen de las simulaciones de la alternativa 1.

Tramo	Distancia (Km)	BER	Jitter (ns)	Evaluación
GYE-Pallatanga	140	10^{-18}	0.0178622	En este tramo el tercer canal se encuentra en los rangos definidos por lo que es el más aceptable.
		10^{-16}	0.0172049	
		10^{-10}	0.0155216	
		10^{-13}	0.0159009	
Pallatanga-Riobamba	85	10^{-29}	0.0153353	El tercer canal presenta un buen BER a pesar de que su jitter no es el más bajo en este tramo pero es aceptable.
		10^{-27}	0.0181785	
		10^{-15}	0.0173841	
		10^{-31}	0.0150677	
Riobamba-Ambato	65	10^{-40}	0.0173575	Los resultados del tercer canal se encuentran por encima del valor que se definió a pesar de esto son muy aceptables.
		10^{-37}	0.0173581	
		10^{-19}	0.0175257	
		10^{-33}	0.0160106	
Ambato-Machachi	108	10^{-23}	0.0141685	El tercer canal se encuentra aceptable al
		10^{-20}	0.0162508	
		10^{-13}	0.018047	

		10^{-25}	0.0139162	estar en los rangos establecidos.
Machachi-Quito	40	10^{-40}	0.0155658	Posee un aceptable superior en el trayecto, considerando el tercer canal como el más óptimo.
		10^{-40}	0.0186545	
		10^{-37}	0.0141123	
		10^{-040}	0.0172056	

Tabla del resumen de la primera alternativa, Autor: Iván León

En esta alternativa se considera al tercer canal como el más idóneo para la transmisión, los otros tres canales no son valores despreciables pero no se los escogió al no estar dentro del rango establecido al inicio del capítulo 4.

Tabla 2: Resumen de las simulaciones de la alternativa 2.

Tramo	Distancia (Km)	BER	Jitter	Evaluación
GYE-Machala	192	10^{-10}	0.0211116	El primer canal se encuentra aceptable al estar en los rangos establecidos.
		10^{-8}	0.0203372	
		10^{-5}	0.0180267	
		10^{-5}	0.0175362	
Machala-Cuenca	170	10^{-10}	0.0197549	En este tramo el segundo canal se considera el más aceptable al estar en el rango.
		10^{-11}	0.0172561	
		10^{-6}	0.0174285	
		10^{-7}	0.0160492	
Cuenca-Tambo	100	10^{-23}	0.0138688	El tercer canal se encuentra aceptable al estar en los rangos
		10^{-22}	0.0155575	
		10^{-13}	0.0163887	
		10^{-27}	0.0139675	

				establecidos.
Tambo-Riobamba	175	10^{-10}	0.0191917	En este tramo los dos primeros canales se encuentran aceptables al estar en el rango antes descrito, pero se considera al segundo como más aceptable al poseer menor jitter.
		10^{-10}	0.0172495	
		10^{-6}	0.0169268	
		10^{-7}	0.0168692	
Riobamba-Ambato	65	10^{-40}	0.0173575	Los resultados del tercer canal se encuentran por encima del valor que se definió a pesar de esto son muy aceptables.
		10^{-37}	0.0173581	
		10^{-19}	0.0175257	
		10^{-33}	0.0160106	
Ambato-Machachi	108	10^{-23}	0.0141685	El tercer se encuentra aceptable al estar en los rangos establecidos.
		10^{-20}	0.0162508	
		10^{-13}	0.018047	
		10^{-25}	0.0139162	
Machachi-Quito	40	10^{-40}	0.0155658	Posee un aceptable superior en el trayecto, considerando el tercer canal como el más óptimo.
		10^{-40}	0.0186545	
		10^{-37}	0.0141123	
		10^{-40}	0.0172056	

Tabla del resumen de la segunda alternativa, Autor: Iván León

Después de la respectiva comparación entre las dos alternativas, se seleccionó a la segunda como la mejor solución desde el punto de vista operativo, debido a que por las ciudades que se atraviesan en esta opción se podrían configurar más puntos de control con el fin de facilitar la administración de los enlaces.

Anexo 23. Características del equipo OSN 8800

Nombre: OSN 8800 T16

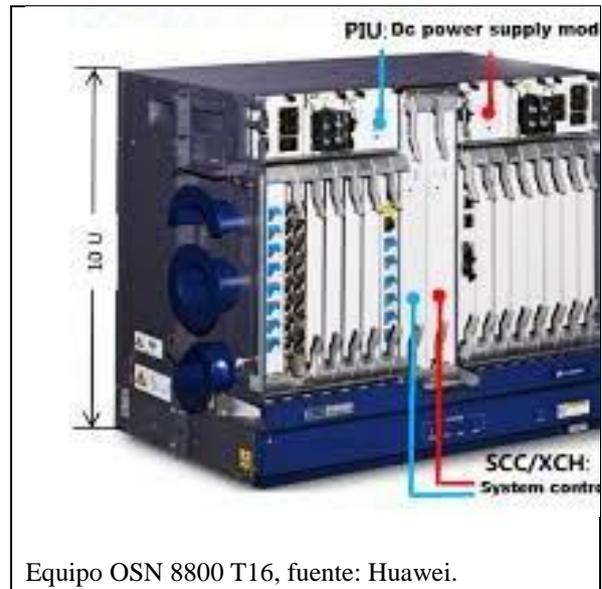
Fabricante: Huawei.

Descripción técnica:

- Dimensión (mm): 450 (A) x 447 (W) x 295(D)
- Ranura total de 24: 16 x ranuras para juntas de servicio. OA, Mux/Dmux
- Longitud de onda: banda C 40/80 λ .
- NMS U2000

Plataforma multi-servicio OTN/WDM

- OTN Cross-Connection 640 G, 1.6 T ODUk (K=0,1,2,2e,3,flex), VC (3,4,12)
- Longitudes de onda: 2.5/10/40/100 G por λ .
- Transmisión: coherente/ no coherente.
- Configurable: FOADM/ OTM/ OLA/ROADM.
- Soporte ASON para sistemas de alta fiabilidad.
- Protección de red:
 - Equipo OTN 1+1
 - Cliente 1+1
 - ODUK SNCP
 - Intra-board 1+1
 - protección de línea óptica
- Protección del hardware:
 - Cross-Connection 1+1
 - System Control Board 1+1 (tablero de control del sistema)
 - Power Interface Unit 1+1



Equipo OSN 8800 T16, fuente: Huawei.

Anexo 23. Equipo OSN 8800 T16

Anexo 24. Características del equipo OSN 8800

Nombre: OSN 8800 P16

Fabricante: Huawei

Descripción técnica:

- Dimensión (mm): 410 (A) x 448 (W) x 295(D)
- Ranura total de 21: 14 ranuras de servicios como una subdivisión de cuadro principal, 16 ranuras de servicios como un sub-bastidor esclavo.
- Longitud de onda: banda C 40/80 λ.
- NMS U2000

- Cliente 1+1
- Intra-board 1+1
- protección de línea óptica
- Protección del hardware:
 - System Control Board 1+1 (tablero de control del sistema)

Power Interface Unit 1+1

19 pulgadas de equipos WDM tradicional

- Apoyo bastidor de 19 pulgadas y la instalación del gabinete ETSI
- Incorporado en la fuente de alimentación AC / DC
- Longitudes de onda: 2.5/10/40/100 G por λ.
- Transmisión: coherente/ no coherente.
- Configurable: FOADM/ OTM/ OLA/ROADM.
- Soporte capa óptica ASON para sistemas de alta fiabilidad.
- Protección de red:

Anexo 24. Características del equipo OSN 8800 P16



Equipo OSN 8800 P16, fuente: Huawei.

Anexo 25. Cotización Huawei primera alternativa

1 Alternativa

No	Item	cant.	Unit Price (USD)	Total Price (USD)
EQUIPOS				
1	OSN 8800 T16_ QUITO	1	\$ 113.770,21	\$ 113.770,21
2	OSN 8800 T16_ MACHACHI	1	\$ 66.925,67	\$ 66.925,67
3	OSN 8800 T16_ AMBATO	1	\$ 179.744,52	\$ 179.744,52
4	OSN 8800 T16_ RIOBAMBA	1	\$ 39.065,69	\$ 39.065,69

5	OSN 8800 T16_PALLATANGA	1	\$ 39.065,69	\$ 39.065,69
6	OSN 8800 T16_BASE SUR	1	\$ 235.582,59	\$ 235.582,59
7	Gestor iManager U2000-T	1	\$ 81.737,73	\$ 81.737,73
8	Grupo de repuestos	1	\$ 171.393,25	\$ 171.393,25
SUB TOTAL DE EQUIPOS				\$ 927.285,35

SERVICIOS				
9	Garantía extendida de 3 años para todo el equipamiento	1	\$ 243.449,64	\$ 243.449,64
	Servicio de soporte 9x5xNBD por 3 años			
	Mantenimiento preventivo, 3 veces en los 3 años			
10	Instalación, configuración, aprovisionamiento y pruebas	1	\$ 94.995,00	\$ 94.995,00
11	capacitación para 12 personas por 40 horas	1	\$ 19.360,00	\$ 19.360,00
SUB TOTAL DE SERVICIOS				\$ 357.804,64
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO SIN IVA				\$ 1.285.089,99

Anexo 26: Cotización Huawei segunda alternativa

2 Alternativa

No	Item	cant.	Unit Price (USD)	Total Price (USD)
EQUIPOS				
1	OSN 8800 T16_QUITO	1	\$ 113.770,21	\$ 113.770,21
2	OSN 8800 T16_MACHACHI	1	\$ 66.925,67	\$ 66.925,67
3	OSN 8800 T16_AMBATO	1	\$ 179.744,52	\$ 179.744,52
4	OSN 8800 T16_RIOBAMBA	1	\$ 39.065,69	\$ 39.065,69
5	OSN 8800 T16_TAMBO	1	\$ 39.065,69	\$ 39.065,69
6	OSN 8800 T16_CUENCA	1	\$ 179.744,52	\$ 179.744,52
7	OSN 8800 T16_MACHALA	1	\$ 211.864,98	\$ 211.864,98
8	OSN 8800 T16_BASE SUR	1	\$ 235.582,59	\$ 235.582,59
9	Gestor iManager U2000-T	1	\$ 81.737,73	\$ 81.737,73
10	Grupo de repuestos	1	\$ 171.393,25	\$ 171.393,25
SUB TOTAL DE EQUIPOS				\$ 1.318.894,85

SERVICIOS				
11	Garantía extendida de 3 años para todo el equipamiento	1	\$ 243.449,64	\$ 243.449,64
	Servicio de soporte 9x5xNBD por 3 años			
	Mantenimiento preventivo, 3 veces en los 3 años			
12	Instalación, configuración, aprovisionamiento y pruebas	1	\$ 94.995,00	\$ 94.995,00
13	capacitación para 12 personas por 40 horas	1	\$ 19.360,00	\$ 19.360,00
SUB TOTAL DE SERVICIOS				\$ 357.804,64
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO SIN IVA				\$ 1.676.699,49