Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Autorización electrónica de trabajo de graduación
Fecha: 11/02/2025 14:31:16
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM

Mario René Cotí Gómez

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, febrero de 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO RENÉ COTÍ GÓMEZ
ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Tiul Valenzuela
EXAMINADOR	Ing. Keneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha 14 de febrero 2018.

Mario René Cotí Gómez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 4 de marzo de 2020.
Ref.EPS.KIER.4D.K.3.20

Nombre del estudiante: Mario Rene Coti Gómez

CUI: 2336 39276 0901

Registro Académico: 8830860

Carrera: Ingeniería Eléctrica

Por este medio se le informa que el día **4 de marzo de 2020** se clausura de forma oficial el programa de EPS, iniciado el **16 de agosto de 2018** y que realizó en la Dirección General de Administración Universidad de San Carlos de Guatemala

Se le recuerda, que de acuerdo con el normativo vigente:

a. Artículo 15° literal a, se fija como tiempo máximo para la entrega del informe final de EPS, sesenta (60) días calendario a partir de la fecha de clausura oficial del proyecto.
b. Artículo 28°. Se establece como tiempo máximo para obtener las cartas de aprobación del informe final del EPS, un año calendario, a partir de la fecha de clausura oficial del programa de EPS, de lo contrario se procederá a invalidar a dicho programa y tendrá que buscar otra alternativa de graduación y/o someterse a un nuevo programa de EPS.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Universidad de San Carlos de Guatemala
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor-supervisor

Original: Control Académico
Copia 1: Estudiante
Copia 2: Asesor-supervisor

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 15 de noviembe de 2023.
REF.EPS.DOC.B.147.15.11.2023

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mario Rene Coti Gomez** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **8830860** y CUI **2336392760901**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO DE UNA RED DWDM PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES DEL CAMPUS CENTRAL USAC – CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM".**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Universidad de San Carlos de Guatemala
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
ASESOR - SUPERVISOR DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 15 de noviembe de 2023.
REF.EPS.DOC.B.150.15.11.2023

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **" DISEÑO DE UNA RED DWDM PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES DEL CAMPUS CENTRAL USAC – CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM "** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Mario Rene Coti Gomez,** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

c.c/Archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 8 de julio de 2024

Señor director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación de EPS titulado **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM**, desarrollado por el estudiante **Mario René Cotí Gómez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

SIST.LNG.DIRECTOR.14.EIME.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante Mario Rene Coti Gomez: "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM", procede a la autorización del mismo.

Ingeniero Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, julio de 2024

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.97.2025

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA RED DWDM QUE BRINDE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES ENTRE CAMPUS CENTRAL USAC-CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO CUM"**, presentado por: **Mario Rene Coti Gomez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Informe final EPS
Fecha: 11/02/2025 13:06:14
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería

Guatemala, febrero de 2025

Para verificar validez de documento ingrese a https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2025 Correlativo: 97 CUI: 2336392760901

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Que mi vida sea para la gloria y Honra de Cristo.
Mis padres	Rigoberto Cotí (q.e.p.d.) y Mary Lesbia Gómez.
Mis hermanos	Con cariño fraterno.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme formarme para contribuir al desarrollo de Guatemala.
Ingeniero	Kenenth Issur Lopez Estrada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES VII
GLOSARIO XI
RESUMEN XIII
OBJETIVOS XVII
INTRODUCCIÓN XIX

1. ANTECEDENTES GENERALES UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 1
   1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala 1
      1.1.1. Historia 4
      1.1.2. Misión 7
      1.1.3. Visión 8
         1.1.3.1. Organigrama General de la Universidad de San Carlos de Guatemala 8
         1.1.3.2. Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala 12
         1.1.3.3. Mapa de la Ciudad Universitaria zona 12…. 13

2. MARCO TEORICO 15
   2.1. Telecomunicaciones 15
      2.1.1. Definición de telecomunicaciones 16
      2.1.2. Historia de las telecomunicaciones 18
      2.1.3. Tipos de telecomunicaciones 19

2.1.4. Aplicaciones de las telecomunicaciones 20
2.2. Redes de telecomunicaciones 21
2.2.1. Definición de red de telecomunicaciones 21
2.2.2. Componentes de una red de telecomunicaciones .. 21
2.2.3. Tipos de redes de telecomunicaciones 22
2.2.4. Topologías de redes de telecomunicaciones 23
2.3. Red DWDM 24
2.3.1. Definición de red DWDM 24
2.3.2. Ventajas de las redes DWDM 25
2.3.3. Desventajas de las redes DWDM 26
2.4. Componentes de una red DWDM 27
2.4.1. Multiplexor/demultiplexor óptico (MUX/DEMUX) 28
2.4.2. Amplificador óptico (AO) 28
2.4.3. Conversor de señal óptico-eléctrico/eléctrico-óptico (O/E/O) 29
2.4.4. Filtro óptico 29
2.5. Servicios de telecomunicaciones 30
2.5.1. Voz sobre IP (VoIP) 30
2.5.2. Datos 31
2.5.3. Video 31
2.5.4. Otros servicios 32
2.6. Recomendación de la Union Internacional de las Telecomunicaciones ITU 33
2.7. Componentes básicos de una red DWDM 33

3. MARCO METODOLÓGICO 43
3.1. Localización 43
3.1.1. Campus Central Universidad de San Carlos de Guatemala 43

3.1.2. Centro Universitario Metropolitano 44
3.2. Delimitación del campo de estudio 46
3.3. Recursos disponibles 47
3.4. Herramientas 47
3.5. Descripción general proyecto 50
3.6. Topología 50
3.7. Sitios involucrados 51
3.8. Rutas de fibra 52
3.9. Ubicaciones físicas edificios universitarios 52
3.10. Rutas de fibra óptica 54
3.10.1. Fibra edificios 57
3.11. Tipo de fibra proyecto 59
3.12. Infraestructura de red fibra óptica 61
3.13. Fibra propia del proyecto 62
3.14. Tipo de poste: metálico o de madera 64
3.15. Renta de fibra 64
3.16. Caracterización de fibra 64
3.17. Atenuación 65
3.18. CD/PMD 66
3.19. Red LAN local 67
3.20. Equipos 68
3.21. ROADM 69
3.22. Backplane 71
3.23. Interfaz óptica 72
3.24. OTN 73
3.25. Línea OTN 73
3.26. Capacidad de 8 canales ópticos 74
3.27. Ecualización de señales DWDM 76

3.28. Elección de tipo tarjeta interconexión lado cliente (LAN) y lado DWDM 77
3.29. Por tarjeta transponder 78
3.30. Muxponder 79
3.31. Tarjeta OTN 81
3.32. Capacidad de crosconexion OTN 81
3.33. Colorless 81
3.34. Directionless 84
3.35. Canal de supervisión OSC 85
3.36. Ason 87

4. PROPUESTA DE DISEÑO 93
4.1. Diseño de la red 93
4.2. Desarrollo 93
4.2.1. Margen del cable 94
4.2.2. Tipo G.652 95
4.2.3. Atenuación por kilómetro de la fibra 95
4.2.4. Tipo ROADM 96
4.2.5. CD 96
4.2.6. Ason 96
4.2.7. OTDR 97
4.2.8. OTN 98
4.2.9. Puerto línea 100G coherente 98
4.2.10. Software de diseño 99
4.2.11. Cálculos propuesta 100
4.2.11.1. Etapas de diseño red óptica 101
4.2.12. Creación de proyecto 102

4.2.12.1. Nombre Red DWDM Campus Central USAC-Centro Universitario Metropolitano 102
4.2.13. Gestión de equipos 115
4.3. Lista de material por sitio 117
4.4. Costos proyecto 118

CONCLUSIONES 121
RECOMENDACIONES 123
REFERENCIAS 125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Rectoría Universidad de San Carlos de Guatemala 2
Figura 2. Antigua Universidad de San Carlos de Guatemala 5
Figura 3. Organigrama Universidad de San Carlos de Guatemala 10
Figura 4. Universidad de San Carlos de Guatemala..... 13
Figura 5. Cable de fibra óptica 16
Figura 6. Antena 9.3M con Radome 17
Figura 7. Modulador analógico básico 18
Figura 8. Multiplexor óptico (DWDM) 34
Figura 9. Enlace óptico ideal con tecnología DWDM..... 34
Figura 10. Tarjeta Transponder/Muxponder..... 36
Figura 11. Muxponder con cliente Lambda Alien..... 38
Figura 12. Multiplexacion de señales ópticas..... 39
Figura 13. Amplificador óptico 40
Figura 14. Enlace DWDM..... 41
Figura 15. Campus Central USAC 44
Figura 16. Centro Universitario Metropolitano CUM 45
Figura 17. Imagen ilustrativa Centro Universitario Metropolitano 46
Figura 18. Topología delimitación campo de estudio proyecto..... 47
Figura 19. Software de diseño..... 48
Figura 20. Flujograma diseño red DWDM..... 49
Figura 21. Topología general red DWDM 51
Figura 22. Campus Central USAC Zona 12..... 53
Figura 23. Centro Universitario Metropolitano USAC 54

Figura 24. Ruta de fibra por diagonal 17 55
Figura 25. Ruta de fibra por Ruta Calzada Aguilar Batres 56
Figura 26. Ruta de fibra por 11 avenida 57
Figura 27. Topología física edificios involucrados Campus Central USAC ... 58
Figura 28. Topología edificios Centro Universitario Metropolitano 59
Figura 29. Espectro Banda C 60
Figura 30. Espectro óptico, Banda C 61
Figura 31. Fibra aérea en poste 62
Figura 32. Flujograma de dos alternativas 63
Figura 33. Caracterización fibra óptica 65
Figura 34. Atenuación 66
Figura 35. PMD 67
Figura 36. Red LAN 68
Figura 37. Ciena ROADM 70
Figura 38. Nokia ROADM 71
Figura 39. SENKO optical backplane connector 72
Figura 40. Matrix OTN Cepetel 74
Figura 41. Enlace óptico 75
Figura 42. Señales ópticas en cable de fibra 76
Figura 43. Amplificador óptico variable 77
Figura 44. Transponder 78
Figura 45. Proceso señal en transponder 79
Figura 46. Muxponder Fiber DWDM 80
Figura 47. Infinera XTM Muxponder 80
Figura 48. Optimal Connectivity separación de canales 82
Figura 49. Enlace ROADM punto a punto 83
Figura 50. Colorless Ports 83
Figura 51. Enlace DWDM punto a punto con doble enlace de fibra 84
Figura 52. Blog Colorless 85

Figura 53. Canal de supervisión 87
Figura 54. Topología para ASON 88
Figura 55. ITU G 8080 Amendment 2 89
Figura 56. Protocolo Ason, ITU G.8080 Amendment 2 90
Figura 57. Emplame óptico, imagen de Fibermex 94
Figura 58. Rackonline, rollo de fibra 95
Figura 59. Otdr Incorporado 97
Figura 60. Software diseño 100
Figura 61. Flujograma 101
Figura 62. Topología diseño red DWDM 105
Figura 63. Topología 106
Figura 64. Herramienta de diseño Alcatel EPT 108
Figura 65. Parámetros de red 109
Figura 66. Reporte Parámetros de Red 110
Figura 67. Reporte de fibra 111
Figura 68. Shelf report 112
Figura 69. Reporte demandas 113
Figura 70. Reporte rutas demandas 114
Figura 71. Diseño exitoso 115
Figura 72. Gestor Huawei iNCE 117
Figura 73. Listado de materiales 118

TABLAS

Tabla 1. Frecuencias ópticas 37
Tabla 2. Sitios red DWDM. 52
Tabla 3. Cuadro KPI Interfaz LAN 73
Tabla 4. Especificaciones transceivers 99
Tabla 5. Datos distancias ópticas 103

Tabla 6. Listado de demandas 104
Tabla 7. Tabla de listado de materiales y costos unitarios 119

GLOSARIO

ASON Automathic Switching Optical Network. Es el protocolo utilizado en redes modernas de telecomunicaciones por tecnología DWDM para la restauración automática de servicios.

CD Chromatic Dispersion. O dispersión cromática, es el valor que reporta un equipo de caracterización de fibra para ver si su valor está dentro de rango.

Decibel dB Es una unidad de medida analógica para representar el valor de potencia de una señal en escala logarítmica.

Demanda Es un servicio de telecomunicaciones punto a punto en una red óptica.

Green field Cuando un proyecto se inicia desde la construcción física de toda su infraestructura.

Incoterm Son estándares internacionales para definir responsabilidades de vendedores y compradores en comercio internacional.

OTDR	Optical Time Domain Reflectometer. Reflectometro óptico en el dominio del tiempo, es un equipo de medición para caracterizar fibra óptica.
Recomendaciones UIT	Son recomendaciones técnicas dictadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones sobre las normas y cumplimientos que los constructores y operadores de redes de Telecomunicaciones deben cumplir.
Restauración	En redes de transporte Óptico significa el proceso para restablecer un servicio punto a punto que ha sido interrumpido o degradado en una red mallada.
ROADM	Multiplexor reconfigurable óptico de bajada y subida.

RESUMEN

Desde el inicio de las comunicaciones alámbricas tal como el telégrafo a mediados del siglo XIX, posteriormente pasando por el teléfono en hilos de cobre también en el siglo XIX, la demanda de usuarios de servicios de voz se incrementó año con año de tal forma que una comunicación de voz utilizaría un par de hilos de cobre; esta demanda de llamadas llevó a que la infraestructura de cobre se viera insuficiente, ya que por cada llamada de voz se necesitaría un par de hilos de cobre hasta la central telefónica, asimismo, dicha central telefónica no era de componentes electrónicos sino dicha actividad la realizaban personas interconectado origen y destino según la necesidad.

La demanda de comunicación seguía creciendo de tal forma que se necesitaban técnicas más eficientes para aprovechar los recursos disponibles. Ya en el siglo XX y posterior a la segunda guerra mundial surgió una propuesta para agrupar diferentes señales de voz en un solo medio, fue así como técnicas como el FDM (multiplexación por división de frecuencia) y la utilización ya de cables coaxiales permitieron que por ejemplo 60 llamadas de voz pudieran viajar en un par de cables coaxiales.

Hasta aquí todo la comunicación en los equipos era analógica, desde la voz, la modulación, la agrupación y finalmente la transmisión; a finales de la mitad del siglo XIX la utilización de técnicas de multiplexación de señales, tales como TDM (multiplexación por división de tiempo), así como el empleo de técnicas de modulación, ya ahora digitales, como PCM (modulación por codificación de pulsos) y la utilización del teorema de Nyquest, permitieron que la voz pudiera ser muestreada y alojada en un slot de tiempo de tal manera que 32 canales de

voz cupieran en un ancho de banda de 2 Mbits y a la vez ser transportado en solo un par de cables coaxiales.

Posterior a ello surgió entonces otra técnica de tecnología de transmisión digital como lo fue el SDH (Synchronous Digital Hierarchy), en la cual la Voz y ahora también ya los datos se agrupaban en contenedores virtuales, los cuales podían ser administrados y crosconectados por una matriz de tráfico, así mismo, el surgimiento de otras tecnologías como Frame Relay e IP permitieron agrupar los datos en datagramas y en paquetes respectivamente, así como su transmisión a través de protocolos como el MPLS. Fue entonces ya en la era recién pasada, dos grandes tecnologías competían por la transmisión de señales de voz, video y datos SDH e IP/MPLS, respectivamente.

Del lado SDH bajo recomendaciones de la ITU surge la propuesta de tecnología DWDM (Multiplexación por división de onda densa), para transportar múltiples portadoras digitales en un solo par de fibras ópticas y es así como tecnologías como IP/MPLS empiezan a utilizan el DWDM como transporte de un origen hacia un destino, utilizando interfaz LAN PHY; también bajo recomendaciones de la ITU la antigua matriz SDH es evolucionada a matriz OTN bajo la recomendación G.709. Toda esta evolución lleva hoy día que debido al crecimiento exponencial de ancho de banda digital en instituciones tales como universidades, sea necesario contar con una infraestructura de transmisión que interconecte grandes centros o campus universitarios.

Con la aplicación de nuevas redes DWDM con equipos ROADM, se tiene garantizado un crecimiento a futuro para suficiente ancho de banda de acuerdo a las necesidades del día a día, así mismo, la inclusión de tecnologías de restauración, tales como el protocolo ASON que utiliza las ventajas de tecnologías como *Colorless* y *Directionless* le dan una robustez a las redes de

transporte con el fin de sobrevivir a cortes de fibra las cuales son las carreteras por donde viaja la comunicación.

La red propuesta en este EPS es una red con tecnología de última generación en redes ópticas, con ancho de banda garantizado e inteligencia para sobrevivencia ante cortes de fibra.

OBJETIVOS

General

Conocer los parámetros básicos de operación y funcionamiento de una nueva red de transporte óptico de tecnología DWDM que brinde servicios de telecomunicaciones entre el Campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Centro Universitario Metropolitano, así como la metodología de validación del diseño de esta nueva red.

Específicos

1. Tener claro la operación y funcionalidad de una red de transporte óptico de tecnología DWDM con funcionalidad de restauración automática ante cortes de fibra o degradación de señal óptica.

2. Investigar las alternativas viables para obtener la infraestructura de fibra óptica para el proyecto.

3. Saber cuáles son los parámetros básicos de diseño de una red DWDM/ROADM/ASON para solicitar propuestas económicas a constructores de equipos.

4. Comprender cuáles son las fases de diseño óptico.

5. Identificar los costos presupuestales del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe el estudio de prefactibilidad para una propuesta de implementar una red de telecomunicaciones de gran ancho de banda de tecnología óptica DWDM de gran ancho de banda que de transporte a las redes LAN entre las unidades administrativas del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como a los edificios administrativos y educacionales del Centro Universitario Metropolitano CUM y entre ambos Centros Universitarios. Se contempla el tipo de equipamiento propuesto, infraestructura de fibra óptica e infraestructura de los sitios donde se alojarían los equipos.

El estudio propone la construcción de una red de transporte óptico de gran ancho de banda porque actualmente, existe la necesidad de contar con una infraestructura que ofrezca:

- Suficiente ancho de banda para la administración de una universidad nacional que hasta 2019 contaba con 187,014 estudiantes inscritos a nivel nacional.

- Una red autónoma e independiente que conecte el Campus Central con todos los Centros Universitarios Regionales y que en esta primera fase no solo conectará a los edificios y unidades administrativas y de recursos educativos del Campus Central y del Centro Universitario Metropolitano sino a lo interno y entre ambos centros, sino quede planificada para extenderse en un futuro hacia el interior del país.

- Una red de transporte que permita crecer según la necesidad de ancho de banda de las redes LAN de cada centro o unidad administrativa.

- Una red de transporte que pueda ofrecer la construcción futura de servidores de respaldo para que el acceso a estos no se vea interrumpido.

- Ofrecer educación a distancia con suficiente ancho de banda y aulas virtuales.

La prefactibilidad contempla la construcción de la red utilizando infraestructura propia no solo de equipos de transmisión sino también de la infraestructura de fibra con cables posteados, asimismo, con hasta tres enlaces de fibra independientes que conecten al Campus Central con el Centro Universitario Metropolitano. Los equipos propuestos son DWDM en configuración ROADM y protocolo de restauración ASON, los puertos clientes de las demandas serán de 10G, pero con opción a crecer a 100G mediante matriz OTN. La fibra a construir está bajo el estándar G.652.

La planificación de la red reúne los parámetros básicos de diseño tales como:

- Ancho de banda red LAN
- Ubicación geográfica
- Selección de edificios donde se ubicarán los equipos
- Margen de cable
- Coeficiente de pérdida por kilómetro de la fibra óptica
- Equipos homologados

Así también se consideran parámetros especializados de redes de transporte óptico de nueva generación tales como:

- Que sean equipos ROADM
- Protocolo de restauración ASON
- Matriz OTN
- Transreceptor óptico de tecnología coherente
- Gestión de equipos orientada a la virtualización
- Finalmente se hace uso de herramientas de diseño para redes ópticas con el objetivo de garantizar un diseño exitoso y la generación de un listado de materiales que incluye hardware y software necesarios para su implementación.

1. ANTECEDENTES GENERALES UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

Conocida también como USAC por sus siglas de Universidad de San Carlos de Guatemala, es la universidad más grande y Antigua de Guatemala, con una historia que se remonta a más de 300 años. Fue fundada durante el período de la colonia en 1676 en lo que se denominaba Capitanía General o Reino de Guatemala y desde entonces se ha convertido en una destacada institución de educación superior en América Central.

La misión y visión de la Universidad de San Carlos de Guatemala reflejan su compromiso de brindar experiencias académicas asequibles y culturalmente auténticas y promover la cultura democrática y los enfoques de múltiples partes interesadas. Como institución de educación superior autónoma del estado, la USAC es responsable de dirigir, organizar y desarrollar la educación superior en el estado y el país.

El Campus Central Universitario de la USAC está ubicado en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala, tiene acceso por el llamado Anillo Periférico y también por la Avenida Petapa, es de fácil acceso en transporte público. En el campus central existen varias facultades, tales como la de Ingeniería, de Humanidades, de Ciencias Médicas y de Ciencias Sociales. El campus también cuenta con varios centros e institutos de investigación, así como instalaciones deportivas en la que sobresale el Estadio Revolución sede del equipo de futbol profesional representativo de esta casa de estudios, también cuenta con

espacios culturales. La Universidad de San Carlos de Guatemala es una institución vital de educación superior en Centroamérica, con una rica historia y un compromiso de promover la excelencia académica y la justicia social.

Figura 1.

Rectoría Universidad de San Carlos de Guatemala

Nota. Ubicada en zona 12 de ciudad de Guatemala, el campus central concentra los edificios administrativos como la Rectoría de la universidad. Obtenido de Rectoría USAC (2024). *Rectoría.* (https://ddo.usac.edu.gt/index.php/administracion-central/rectoria/), consultado el 10 de febrero de 2024. De dominio público.

La Universidad de San Carlos de Guatemala también ofrece una variedad de programas de posgrado para estudiantes que buscan continuar su educación y avanzar en sus carreras. Además, de los programas de pregrado y posgrado, la Universidad de San Carlos de Guatemala ofrece cursos de educación continua y desarrollo profesional.

Estos cursos están diseñados para ayudar a las personas a adquirir nuevas habilidades y conocimientos para avanzar en sus carreras o buscar nuevas oportunidades. La universidad ofrece cursos gratuitos de actualización y educación continua, incluyendo la formación para el Desarrollo Territorial y Catastral y el Programa de Desarrollo Académico Profesional Docente.

La Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), ofrece una vida estudiantil vibrante con una variedad de organizaciones y clubes estudiantiles que brindan a los estudiantes oportunidades para explorar sus intereses y pasiones. Estas organizaciones y clubes van desde organizaciones académicas y profesionales hasta clubes deportivos y culturales.

La Coordinadora General de Estudiantes es un espacio que reúne a asociaciones de estudiantes de diferentes unidades académicas y brinda una plataforma para que los estudiantes organicen y participen en eventos y actividades. Sin embargo, en los últimos años, la universidad se ha enfrentado a desafíos con protestas estudiantiles y tomas de instalaciones, lo que ha provocado interrupciones en la vida estudiantil. A pesar de estos desafíos, la universidad continúa esforzándose por brindar una experiencia de vida estudiantil diversa y atractiva para sus estudiantes.

El campus de la USAC brinda a los estudiantes acceso a una variedad de recursos e instalaciones para apoyar su crecimiento académico y personal.

La Dirección General de Extensión Universitaria promueve la integración entre la universidad y la sociedad a través de diversos programas culturales, sociales y educativos. La Universidad de San Carlos de Guatemala también brinda oportunidades para que los estudiantes se involucren en la acción social y el servicio comunitario a través de programas como el Área de Acción Social Estudiantil de la USAC, que promueve acciones en la comunidad para abordar problemas sociales

La Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), ha hecho contribuciones significativas a Guatemala y más allá a través de sus iniciativas de investigación e innovación. La universidad ha establecido convenios de cooperación académica con otras instituciones, como la Dirección General de Investigación, para promover la investigación científica y la transferencia de conocimiento para el desarrollo sostenible. La USAC también ha implementado proyectos de innovación curricular, como el programa de Doctorado en Educación, que tiene como objetivo mejorar la calidad de la educación en Guatemala.

1.1.1. Historia

La venerable Universidad de San Carlos de Guatemala, se erige como una titánica institución, no solo por su longevidad portentosa, sino por su papel seminal en la forja de la identidad centroamericana. Fundada en 1676 por el régimen colonial español, la universidad ha trascendido su origen utilitario para convertirse en un crisol donde se han formado la historia y la cultura guatemalteca. A lo largo de su existencia turbulenta, la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha sorteado desafíos titánicos y metamorfosis radicales, emergiendo siempre como un faro inextinguible en un mar tempestuoso.

En sus aulas, han paso estudiantes que se convirtieron en referentes del desarrollo del país en áreas tales como Medicina, Ingeniería y Derecho.

La venerable Universidad de San Carlos de Guatemala, lejos de ser una reliquia, continúa siendo un organismo referente, vivo y palpitante. Sus muros resuenan con el clamor de estudiantes idealistas que luchan por un futuro del país más equitativo, tal como lo hicieron sus predecesores hace siglos. En su seno bulle un torrente de ideas disruptivas, un torbellino intelectual que promete seguir iluminando el camino hacia un porvenir más luminoso y próspero para Guatemala y la región.

Figura 2.

Antigua Universidad de San Carlos de Guatemala

Nota. Edificio ubicado en lo que hoy es la ciudad de Antigua Guatemala, muestra el antiguo edificio de la universidad. Obtenido de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2023). *Facultad de Ciencias Jurídicas.* (https://es.wikipedia.org/wiki/Facultad_de_Ciencias_Jur%C3%ADdicas_y_Sociales_de_la_Universidad_de_San_Carlos_de_Guatemala), consultado el 10 de febrero de 2024. De dominio público.

La Universidad de San Carlos de Guatemala fue establecida por el Gobierno Colonial Español en 1676. Su objetivo principal era educar a la élite colonial y promover el catolicismo. Ubicada inicialmente en la ciudad de Antigua Guatemala, la antigua capital colonial de la Capitanía General de Guatemala. El plan de estudios inicial de la universidad se centró en la teología, derecho y medicina. Los graduados de la universidad jugaron un papel crucial en la administración colonial y la Iglesia Católica.

A principios del siglo XIX, los movimientos independentistas centroamericanos provocaron el cierre temporal de la Universidad de San Carlos. Sin embargo, la universidad reabrió sus puertas en 1834 ya en Nueva Ciudad de Guatemala. El plan de estudios de la universidad se amplió para incluir ciencias naturales, ciencias sociales y humanidades, también desempeñó un papel en la promoción de la conservación del patrimonio cultural de Guatemala, incluida la preservación de artefactos mayas y sitios arqueológicos.

A principios del siglo XX, la Universidad de San Carlos de Guatemala, experimentó una importante expansión y modernización. Se establecieron nuevas facultades, incluidas las de ingeniería, agricultura y economía, también jugó un papel en los movimientos políticos y sociales en Guatemala. En 1944, la universidad fue pieza clave en la revolución que derrocó al dictador Jorge Ubico.

Los estudiantes y profesores de la universidad fueron fundamentales en la promoción de la justicia social y la democracia en Guatemala. Durante la segunda mitad del siglo XX, la Universidad de San Carlos de Guatemala, desempeñó un papel fundamental en la promoción de los derechos indígenas y la preservación cultural.

La universidad estableció un departamento de Lenguas y Cultura Maya, que ha desempeñado un papel crucial en la revitalización de las lenguas mayas y la promoción del patrimonio cultural indígena. La universidad también ha estado involucrada en los esfuerzos para abordar los problemas de pobreza, desigualdad y exclusión social en Guatemala.

En los últimos años, la Universidad de San Carlos de Guatemala ha enfrentado numerosos desafíos. La universidad ha tenido problemas con los desafíos de financiación e infraestructura, que han afectado su capacidad para brindar educación e investigación de calidad. La universidad también ha enfrentado desafíos para promover la inclusión social y abordar los problemas de desigualdad y pobreza en Guatemala.

A pesar de estos desafíos, la Universidad de San Carlos de Guatemala se ha esforzado por mejorar su calidad académica y capacidad de investigación, ha establecido nuevos centros y programas de investigación y ha trabajado para mejorar sus asociaciones y colaboraciones internacionales, ha estado involucrada en los esfuerzos para promover la inclusión social y abordar los problemas de desigualdad y pobreza en Guatemala.

1.1.2. Misión

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

Su fin fundamental es elevar el nivel espiritual de los habitantes de la República, conservando, promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico.

Contribuirá a la realización de la unión de Centro América y para tal fin procurará el intercambio de académicos, estudiantes y todo cuanto tienda a la vinculación espiritual de los pueblos del istmo. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1970, párr. 1).

1.1.3. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1970, párr. 2)

1.1.3.1. Organigrama General de la Universidad de San Carlos de Guatemala

El organigrama es un aspecto clave del éxito de la universidad de San Carlos de Guatemala ya que se encuentra bien estructurado, y está organizado

en varias facultades y escuelas, cada una encabezada por un decano o director. La universidad cuenta con 10 facultades distribuidas.

- Según la ciencia del saber cuatro facultades técnicas:

    - Facultad de Ingeniería
    - Facultad de Agronomía
    - Facultad de Arquitectura
    - Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

- Tres facultades medicas

    - Facultad de Medicina
    - Facultad de Odontología
    - Facultad de Ciencias Médicas y Veterinaria

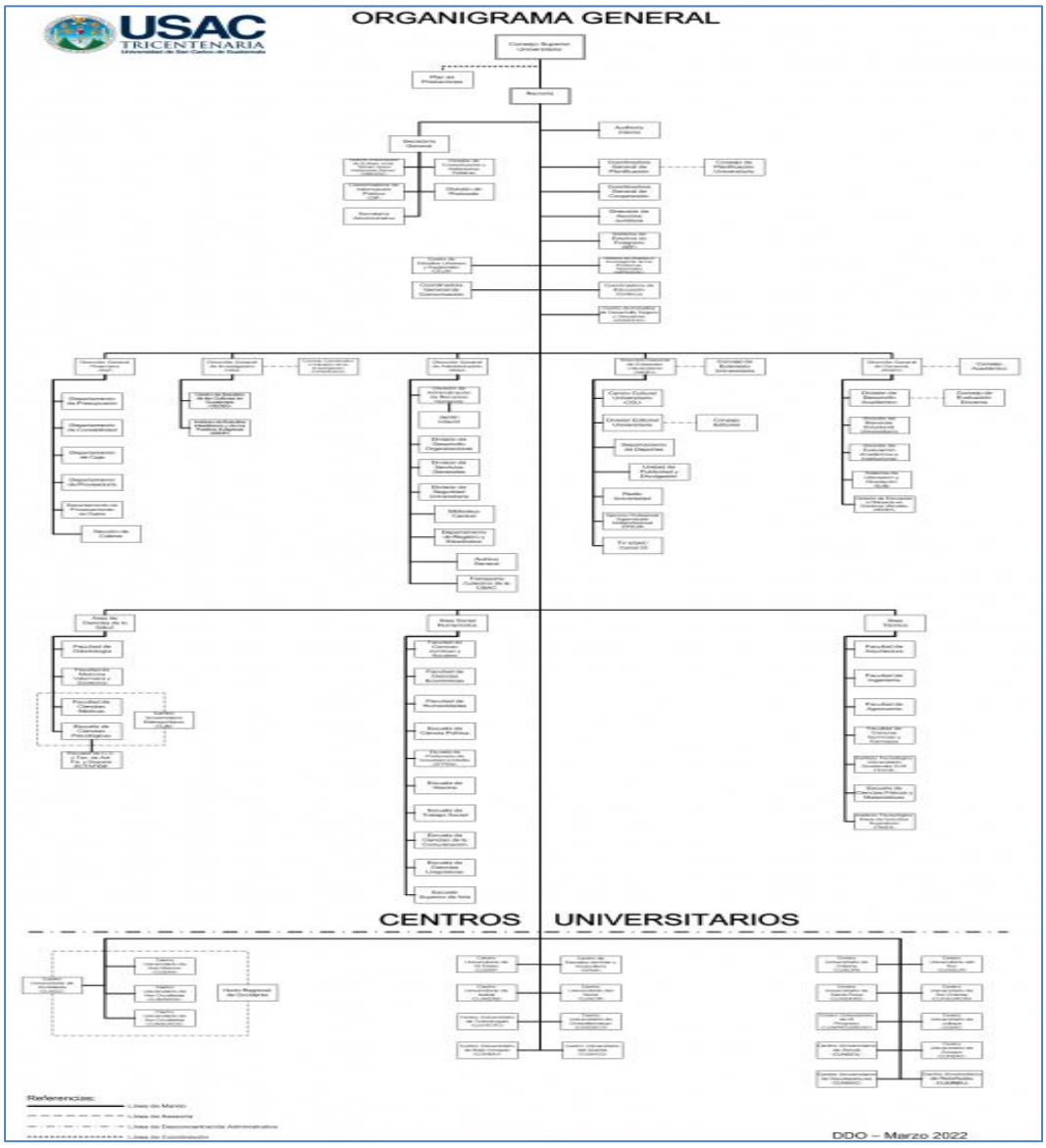
- Tres facultades sociales

    - Facultad de Humanidades
    - Facultad de Ciencias Económicas
    - Facultad de Derecho y Ciencias Sociales

Además, de estas unidades académicas, la universidad también cuenta con varios departamentos administrativos, como finanzas y recursos humanos. Cada uno de estos departamentos juega un papel fundamental para garantizar el buen funcionamiento de la universidad.

Figura 3.

Organigrama Universidad de San Carlos de Guatemala



Nota. El gráfico muestra la representación de los niveles jerárquicos de la universidad. Obtenido de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2023). *Organigrama general.* (https://ddo.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2024/03/Organigrama-General-USAC-MOF-Aprobado-Julio-2023-506x1024.png), consultado el 10 de febrero de 2024. De dominio público.

Cada facultad o escuela de la Universidad de San Carlos de Guatemala se divide en departamentos o programas académicos. Esta estructura organizativa garantiza que cada departamento o programa académico tenga una estructura de liderazgo, clara y definida, lo que permite una toma de decisiones y una comunicación efectivas.

Cuenta con varios departamentos administrativos que desempeñan un papel fundamental en el apoyo a la misión académica de la institución.

- El departamento de Financiero es quien asegura que los fondos se asignen adecuadamente y que los registros financieros sean precisos y estén actualizados.

- El departamento de Recursos Humanos supervisa el reclutamiento, la contratación y los beneficios de los empleados, lo que garantiza que la universidad atraiga y retenga a los mejores talentos.

- La Dirección General de Administración es responsable de mantener la infraestructura física y el equipo de la universidad, asegurando que las aulas, laboratorios y otras instalaciones estén en buenas condiciones y bien equipadas.

El organigrama de la Universidad de San Carlos de Guatemala es un factor clave en su éxito como institución académica. La estructura clara y bien definida de sus facultades, escuelas y departamentos administrativos permite una gestión y coordinación eficaz de sus diversas funciones. Al proporcionar una descripción detallada del organigrama de la universidad.

1.1.3.2. Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala

La Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), constituye el pilar fundamental que rige el funcionamiento de esta institución centenaria. Esbozada en 1945 y promulgada en 1954, la ley establece la estructura, los órganos de gobierno, las funciones y los derechos y deberes de la comunidad universitaria. La ley se articula en 13 títulos, 110 artículos y 3 disposiciones transitorias, abarcando una amplia gama de aspectos relacionados con la vida universitaria:

- Título I. Naturaleza, fines y objetivos de la USAC
- Título II. Autonomía y gobierno de la universidad
- Título III. Personalidad jurídica y patrimonio
- Título IV. Recursos financieros
- Título V. Docencia
- Título VI. Investigación científica
- Título VII. Extensión universitaria
- Título VIII. Estudiantes
- Título IX. Graduados
- Título X. Personal docente
- Título XI. Tribunales de Honor
- Título XII. Régimen electoral
- Título XIII. Disposiciones generales

La ley consagra la autonomía de la USAC como un principio fundamental, lo que le permite autogobernarse y determinar sus planes de estudio, programas de investigación y presupuesto. Esta autonomía ha sido fundamental para defender la libertad de cátedra y la investigación científica.

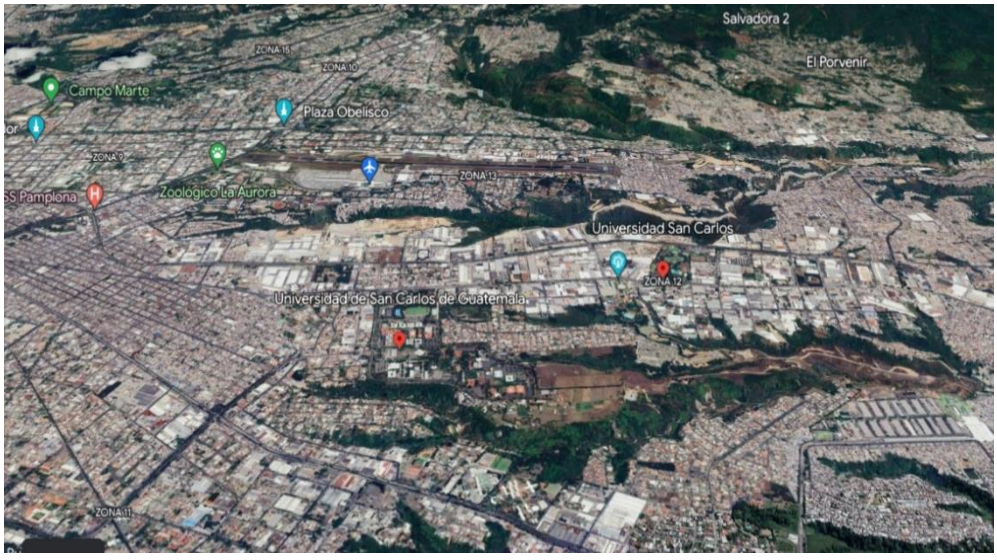
La ley define las funciones de la USAC, entre las que destacan: Docencia: impartir enseñanza superior en todas las áreas del conocimiento; investigación científica: fomentar la investigación científica y tecnológica; extensión universitaria: proyectar su acción hacia la sociedad para contribuir al desarrollo cultural, científico y técnico del país.

1.1.3.3. Mapa de la Ciudad Universitaria zona 12

A continuación, se muestra la ubicación física del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 4.

Universidad de San Carlos de Guatemala



Nota. La imagen muestra la ubicación física del campus universitario. Obtenido de la División de Desarrollo Organizacional (2024). *Universidad de San Carlos de Guatemala.* (https://ddo.usac.edu.gt), consultado el 10 de febrero de 2024. De dominio público.

2. MARCO TEORICO

2.1. Telecomunicaciones

Las telecomunicaciones constituyen un pilar fundamental de la sociedad moderna, posibilitando la transmisión de información a través de vastas distancias.

Este ensayo abordará una descripción técnica de las telecomunicaciones, profundizando en sus diversos componentes, principios y aplicaciones. Componentes básicos: el núcleo de las telecomunicaciones reside en la transmisión de señales, las cuales pueden ser de naturaleza eléctrica, óptica o acústica. Estas señales se modulan, es decir, se les imprime información mediante técnicas como la amplitud, frecuencia o fase; los canales de transmisión transportan las señales moduladas hacia su destino.

Estos canales pueden ser cables de cobre, fibra óptica, ondas de radio o microondas. La elección del canal depende de diversos factores como la distancia, la velocidad de transmisión y el costo.

Figura 5.

Cable de fibra óptica

Nota. La figura muestra la estructura interna del cable de fibra óptica. Obtenido de Infinera (2024). *Cables submarinos*. (https://www.telectronika.com/noticias/nec-cable-submarino /), consultado el 10 de marzo de 2024. De dominio público.

2.1.1. Definición de telecomunicaciones

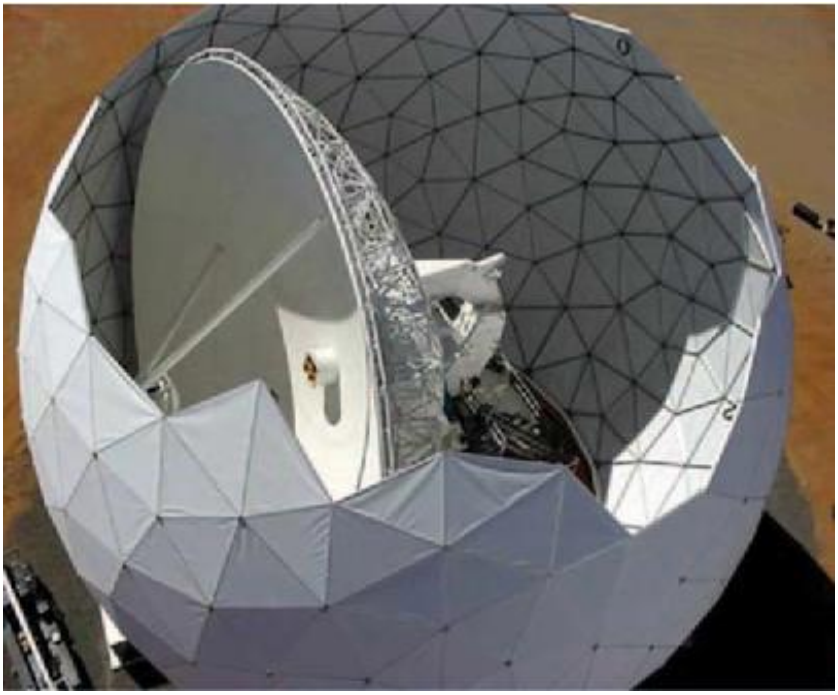
Las telecomunicaciones son el intercambio de información a distancia, generalmente a través de señales eléctricas o electromagnéticas. Las telecomunicaciones incluyen una amplia gama de servicios, como la voz, los datos, el video y la televisión.

Las telecomunicaciones se pueden definir de manera más formal como el proceso de transmisión, recepción y manipulación de información a través de un medio físico o inalámbrico. La información que se transmite a través de las telecomunicaciones puede ser de naturaleza analógica o digital.

Las telecomunicaciones son esenciales para la sociedad moderna, permiten a las personas comunicarse entre sí, acceder a la información y realizar negocios. Las telecomunicaciones han revolucionado la forma en que se vive y se trabaja.

Figura 6.

Antena 9.3M con Radome



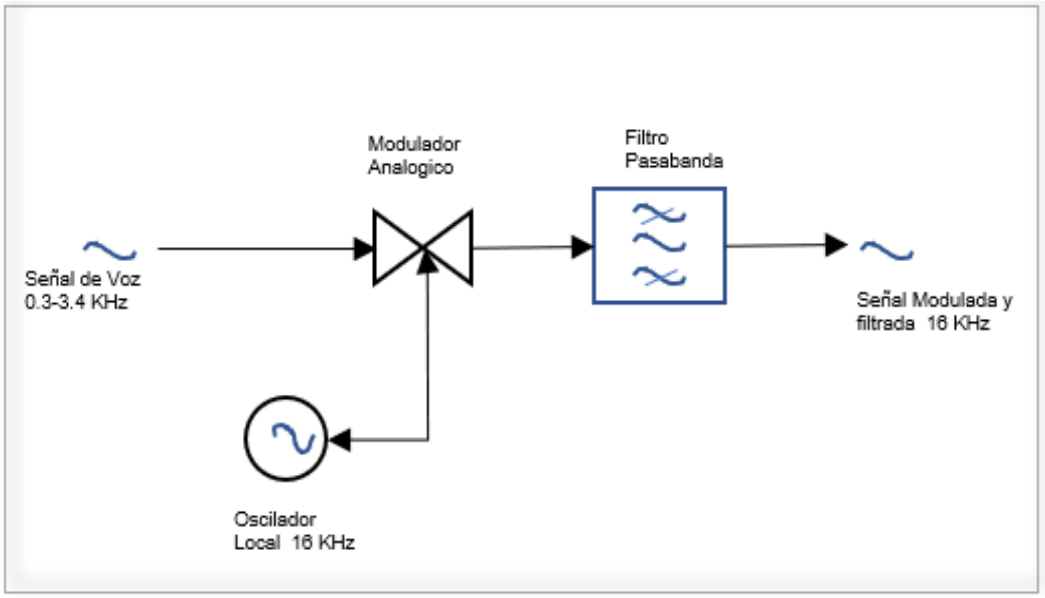
Nota. El Radome es un recubrimiento que protege a la antena de los cambios ambientales como el viento, lluvia, granizo y otros factores. Obtenido de Semantic Scholar (2024). *Antenas con Radome.* (https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.semanticscholar.org%2Fpaper%2FCharacteristics-of-Large-Antennas-with-Radomes-Schwerdtfeger%2F223b672af958cadfe471b616ae21045a60f782a9&psig=AOvVaw21boPFce83RzCp2SFpsFLv&ust=1725665642223000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCNjLtK38rIgDFQAAAAAdAAAAABAE), consultado el 10 de marzo de 2024. De dominio público.

2.1.2. Historia de las telecomunicaciones

Las telecomunicaciones han existido desde la antigüedad, cuando las personas usaban señales de humo, tambores y espejos para comunicarse a distancia. Las primeras telecomunicaciones modernas comenzaron en el siglo XIX con el desarrollo del telégrafo y el teléfono. En el siglo XX, las telecomunicaciones se desarrollaron aún más con el desarrollo de la radio, la televisión y la internet. Los primeros sistemas de telecomunicaciones eran muy primitivos y tenían un alcance limitado. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología, las telecomunicaciones se han vuelto cada vez más sofisticadas y tienen un alcance global.

Figura 7.

Modulador analógico básico



Nota. Multiplexor óptico (DWDM). Elaboración propia, realizado con Excel.

2.1.3. Tipos de telecomunicaciones

Las telecomunicaciones se pueden clasificar en dos tipos principales:

- Telecomunicaciones analógicas: las telecomunicaciones analógicas utilizan señales analógicas para transmitir información. Las señales analógicas son continuas y pueden variar en amplitud y frecuencia.

Las telecomunicaciones analógicas se utilizan para una amplia gama de aplicaciones, que incluyen:

  - Telefonía: la telefonía analógica es el tipo de telefonía más común. Utiliza señales analógicas para transmitir la voz.

  - Radio: la radio analógica transmite señales analógicas de audio.

  - Televisión: la televisión analógica transmite señales analógicas de video.

- Telecomunicaciones digitales: las telecomunicaciones digitales utilizan señales digitales para transmitir información. Las señales digitales son discretas y pueden tomar solo dos valores, 1 o 0.

Las telecomunicaciones digitales ofrecen varias ventajas sobre las telecomunicaciones analógicas, entre las que se incluyen:

  - Mayor precisión: las telecomunicaciones digitales son más precisas que las telecomunicaciones analógicas.

- Mayor inmunidad al ruido: las telecomunicaciones digitales son más inmunes al ruido que las telecomunicaciones analógicas.

- Mayor capacidad: las telecomunicaciones digitales pueden transmitir más información que las telecomunicaciones analógicas.

Las telecomunicaciones digitales se utilizan para una amplia gama de aplicaciones, que incluyen:

- Internet: la Internet es una red de telecomunicaciones digital que conecta millones de computadoras en todo el mundo.

- Telefonía IP: la telefonía IP es un tipo de telefonía que utiliza señales digitales para transmitir la voz.

- Televisión digital: la televisión digital transmite señales digitales de video.

2.1.4. Aplicaciones de las telecomunicaciones

Las telecomunicaciones tienen una amplia gama de aplicaciones que incluyen:

- Comunicaciones personales: las telecomunicaciones se utilizan para comunicarse con otras personas, ya sea en persona o a distancia.

- Entretenimiento: las telecomunicaciones se utilizan para proporcionar entretenimiento, como la televisión, la radio y la internet.

- Educación: las telecomunicaciones se utilizan para proporcionar educación, como la enseñanza a distancia y la educación en línea.

- Negocios: las telecomunicaciones se utilizan para realizar negocios, como las transacciones financieras y la comunicación entre empresas.

2.2. Redes de telecomunicaciones

A continuación, se desarrollará lo que son las redes de telecomunicaciones, empezando por la definición.

2.2.1. Definición de red de telecomunicaciones

Una red de telecomunicaciones es un conjunto de dispositivos interconectados que se utilizan para transmitir información. Las redes de telecomunicaciones pueden ser públicas o privadas.

- Una red de telecomunicaciones pública es una red que está abierta al público en general. Las redes de telecomunicaciones públicas más comunes son la internet y la telefonía fija.

- Una red de telecomunicaciones privada es una red que está restringida a un grupo de usuarios específicos. Las redes de telecomunicaciones privadas se utilizan a menudo por empresas y organizaciones.

2.2.2. Componentes de una red de telecomunicaciones

Los componentes básicos de una red de telecomunicaciones son:

- Terminales: los terminales son los dispositivos que envían y reciben información en una red de telecomunicaciones. Los terminales pueden ser computadoras, teléfonos, televisores, entre otros.

- Nodos: son los dispositivos que conectan los terminales entre sí. Los nodos pueden ser conmutadores, enrutadores, entre otros.

- Medios de transmisión: son las vías por las que se transmite la información en una red de telecomunicaciones. Los medios de transmisión más comunes son la fibra óptica, el cable de cobre y el aire.

2.2.3. Tipos de redes de telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones se pueden clasificar en varios tipos, según el tipo de información que transmiten, la distancia que cubren o el tipo de medios de transmisión que utilizan.

Según el tipo de información que transmiten, las redes de telecomunicaciones se pueden clasificar en:

- Redes de voz: se utilizan para transmitir la voz humana

- Redes de datos: se utilizan para transmitir datos digitales, como texto, imágenes y videos.

- Redes de video: se utilizan para transmitir video.

Según la distancia que cubren, las redes de telecomunicaciones se pueden clasificar en:

- Redes locales: (LAN), cubren una distancia relativamente corta, como un edificio o un campus.

- Redes metropolitanas: (MAN), cubren una distancia mayor que las LAN, pero menor que las redes de área amplia.

- Redes de área amplia: (WAN), cubren grandes distancias, como un país o un continente.

Según el tipo de medios de transmisión que utilizan, las redes de telecomunicaciones se pueden clasificar en:

- Redes d|e fibra óptica: las redes de fibra óptica utilizan fibra óptica para transmitir información.

- Redes de cable de cobre: las redes de cable de cobre utilizan cable de cobre para transmitir información.

- Redes inalámbricas: las redes inalámbricas utilizan el aire para transmitir información.

2.2.4. Topologías de redes de telecomunicaciones

La topología de una red de telecomunicaciones es la forma en que están conectados los componentes de la red. Las topologías de redes de telecomunicaciones más comunes son:

- Topología en estrella: en una topología en estrella, todos los terminales están conectados a un nodo central.

- Topología en bus: en una topología en bus, todos los terminales están conectados a un solo medio de transmisión.

- Topología en anillo: en una topología en anillo, los terminales están conectados en un circuito cerrado.

- Topología en malla: en una topología en malla, todos los terminales están conectados entre sí.

Cada topología tiene sus propias ventajas y desventajas. Por ejemplo, la topología en estrella es muy eficiente, pero es vulnerable a fallos en el nodo central. La topología en bus es simple y económica, pero es vulnerable a fallos en el medio de transmisión. La topología en anillo es muy robusta, pero puede ser difícil de implementar. La topología en malla es muy flexible, pero puede ser costosa de implementar.

2.3. Red DWDM

A continuación, se realizará una definición de la Red DWDM.

2.3.1. Definición de red DWDM

Una red DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), es una red de telecomunicaciones que utiliza la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para transmitir múltiples señales ópticas en un solo medio de transmisión.

La multiplexación por división de longitud de onda es una técnica que permite transmitir múltiples señales ópticas en un solo medio de transmisión

utilizando longitudes de onda diferentes. Las longitudes de onda se pueden seleccionar de una amplia gama de longitudes de onda disponibles.

Las redes DWDM ofrecen varias ventajas sobre las redes tradicionales, entre las que se incluyen:

- Mayor capacidad: las redes DWDM pueden transmitir más datos que las redes tradicionales. Esto se debe a que pueden utilizar una mayor cantidad de longitudes de onda para transmitir datos.

- Mayor eficiencia: las redes DWDM utilizan los recursos de la red de manera más eficiente. Esto se debe a que pueden utilizar una sola fibra óptica para transmitir múltiples señales ópticas.

- Mayor flexibilidad: las redes DWDM son más flexibles que las redes tradicionales. Esto se debe a que pueden adaptarse a diferentes necesidades de ancho de banda.

2.3.2. Ventajas de las redes DWDM

Las redes DWDM ofrecen varias ventajas sobre las redes tradicionales, entre las que se incluyen:

- Mayor capacidad: las redes DWDM pueden transmitir más datos que las redes tradicionales. Esto se debe a que pueden utilizar una mayor cantidad de longitudes de onda para transmitir datos.

- La capacidad de una red es la cantidad de datos que puede transmitir en un período de tiempo determinado. Las redes DWDM tienen una capacidad mucho mayor que las redes tradicionales, lo que las hace ideales para aplicaciones que requieren un gran ancho de banda, como la transmisión de video HD o la entrega de servicios de Internet de alta velocidad.

- Mayor eficiencia: las redes DWDM utilizan los recursos de la red de manera más eficiente. Esto se debe a que pueden utilizar una sola fibra óptica para transmitir múltiples señales ópticas.

  - La eficiencia de una red es la cantidad de datos que puede transmitir en relación con la energía que consume. Las redes DWDM son más eficientes que las redes tradicionales, lo que las hace más rentables a largo plazo.

- Mayor flexibilidad: las redes DWDM son más flexibles que las redes tradicionales. Esto se debe a que pueden adaptarse a diferentes necesidades de ancho de banda.

  - La flexibilidad de una red es la capacidad de adaptarse a diferentes necesidades. Las redes DWDM son más flexibles que las redes tradicionales, lo que las hace ideales para aplicaciones que pueden requerir diferentes anchos de banda en diferentes momentos.

2.3.3. Desventajas de las redes DWDM

Las redes DWDM también presentan algunas desventajas, entre las que se incluyen:

- Costo: las redes DWDM son más costosas que las redes tradicionales. Esto se debe a que requieren equipos más complejos.

    - El costo de una red es el dinero que se necesita para construir y mantener la red. Las redes DWDM son más costosas que las redes tradicionales debido a que requieren equipos más complejos.

La complejidad de una red es la dificultad de entender y operar la red. Las redes DWDM son más complejas que las redes tradicionales, lo que puede dificultar su implementación y mantenimiento.

2.4. Componentes de una red DWDM

Los componentes básicos de una red DWDM son:

- Multiplexor/demultiplexor óptico (MUX/DEMUX): el MUX/DEMUX es el dispositivo que combina o separa las señales ópticas de diferentes longitudes de onda.

- Amplificador óptico (AO): el AO es el dispositivo que amplifica la señal óptica para compensar la pérdida de potencia a lo largo de la fibra óptica.

- Conversor de señal óptico-eléctrico/eléctrico-óptico (O/E/O): el O/E/O es el dispositivo que convierte las señales ópticas en señales eléctricas o viceversa.

- Filtro óptico: el filtro óptico es el dispositivo que selecciona una longitud de onda específica de la señal óptica.

2.4.1. Multiplexor/demultiplexor óptico (MUX/DEMUX)

El MUX/DEMUX es el dispositivo que combina o separa las señales ópticas de diferentes longitudes de onda. El MUX combina las señales ópticas de diferentes fuentes en una sola señal óptica, mientras que el DEMUX separa las señales ópticas de una sola señal óptica en señales ópticas individuales.

El MUX/DEMUX es un dispositivo crítico en las redes DWDM. Es responsable de garantizar que las señales ópticas se combinen o se separen de manera correcta para que se puedan transmitir de manera eficiente a través de la red.

2.4.2. Amplificador óptico (AO)

El AO es el dispositivo que amplifica la señal óptica para compensar la pérdida de potencia a lo largo de la fibra óptica.

La fibra óptica es un medio de transmisión muy eficiente, pero sufre una pérdida de potencia a medida que la señal óptica se propaga a través de ella. El AO se utiliza para compensar esta pérdida de potencia y garantizar que la señal óptica llegue a su destino con una potencia suficiente.

El AO es un componente importante en las redes DWDM, es responsable de garantizar que las señales ópticas se mantengan fuertes y nítidas a medida que viajan a través de la red.

2.4.3. Conversor de señal óptico-eléctrico/eléctrico-óptico (O/E/O)

El O/E/O es el dispositivo que convierte las señales ópticas en señales eléctricas o viceversa. Las señales ópticas son más eficientes para transmitir datos a largas distancias, pero las señales eléctricas son más fáciles de manipular y procesar. El O/E/O se utiliza para convertir las señales ópticas en señales eléctricas para que puedan ser procesadas por los equipos de la red, o para convertir las señales eléctricas en señales ópticas para que puedan ser transmitidas a través de la fibra óptica.

El O/E/O es un componente versátil que se utiliza en una variedad de aplicaciones de redes DWDM.

2.4.4. Filtro óptico

El filtro óptico es el dispositivo que selecciona una longitud de onda específica de la señal óptica. Las redes DWDM utilizan múltiples longitudes de onda para transmitir diferentes tipos de datos. El filtro óptico se utiliza para separar las diferentes longitudes de onda de la señal óptica para que puedan ser procesadas o transmitidas de manera independiente.

El filtro óptico es un componente importante en las redes DWDM. Es responsable de garantizar que las diferentes longitudes de onda de la señal óptica se separen de manera correcta para que se puedan transmitir de manera eficiente a través de la red.

2.5. Servicios de telecomunicaciones

Los servicios de telecomunicaciones son los servicios que se proporcionan a través de las redes de telecomunicaciones. Los servicios de telecomunicaciones pueden clasificarse en dos tipos principales:

- Servicios básicos: los servicios básicos son los servicios que se proporcionan a todos los usuarios de las redes de telecomunicaciones. Los servicios básicos incluyen la telefonía, el acceso a internet y la televisión.

- Servicios avanzados: los servicios avanzados son los servicios que se proporcionan a usuarios específicos o a grupos de usuarios. Los servicios avanzados incluyen la transmisión de video HD, la entrega de servicios de Internet de alta velocidad y la conexión de redes de área local (LAN) y de área amplia (WAN).

2.5.1. Voz sobre IP (VoIP)

La voz sobre IP (VoIP) es un servicio de telecomunicaciones que utiliza internet para transmitir la voz. VoIP permite realizar llamadas telefónicas a través de internet, sin necesidad de una línea telefónica tradicional.

VoIP ofrece una serie de ventajas sobre las llamadas telefónicas tradicionales, incluida una menor tarifa, una mejor calidad de audio y la capacidad de realizar llamadas internacionales de forma gratuita.

2.5.2. Datos

Los servicios de datos son los servicios que se utilizan para transmitir datos a través de las redes de telecomunicaciones. Los servicios de datos incluyen el acceso a Internet, la transferencia de archivos y la transmisión de video.

- El acceso a internet es el servicio de datos más popular. El acceso a internet permite a los usuarios conectarse a la World Wide Web y acceder a una amplia gama de recursos, como información, entretenimiento y comercio electrónico.

- La transferencia de archivos permite a los usuarios enviar y recibir archivos a través de internet. La transferencia de archivos se utiliza para compartir archivos grandes, como películas, música y software.

- La transmisión de video permite a los usuarios ver video a través de Internet. La transmisión de video se utiliza para ver películas, programas de televisión y otros contenidos de video.

2.5.3. Video

Los servicios de video son los servicios que se utilizan para transmitir video a través de las redes de telecomunicaciones. Los servicios de video incluyen la televisión, la transmisión de video y la videollamada.

- La televisión es el servicio de video más popular. La televisión permite a los usuarios ver programas de televisión, películas y otros contenidos de video.

- La transmisión de video permite a los usuarios ver video a través de Internet. La transmisión de video se utiliza para ver películas, programas de televisión y otros contenidos de video en demanda.

- La videollamada permite a los usuarios ver y escuchar a otras personas a través de internet. Las videollamadas se utilizan para comunicarse con amigos y familiares que viven lejos.

2.5.4. Otros servicios

Además de los servicios básicos y avanzados mencionados anteriormente, existen otros servicios de telecomunicaciones que se utilizan en una variedad de aplicaciones. Estos servicios incluyen:

- La mensajería de texto: los mensajes de texto instantáneo a través de las aplicaciones propias de una red inalámbrica o a través de aplicaciones especializadas están hoy día incluidas en servicios básicos de internet.

- El correo electrónico: el correo electrónico permite a los usuarios enviar y recibir mensajes de texto a través de internet.

- El fax: el fax permite a los usuarios enviar y recibir documentos a través de Internet.

- La radio: la radio permite a los usuarios escuchar programas de radio a través de Internet.

- La televisión por satélite: la televisión por satélite permite a los usuarios ver programas de televisión a través de satélites.

Las telecomunicaciones son imprescindibles para la sociedad de hoy día, así como los servicios de telecomunicaciones permiten a las personas comunicarse entre sí y realizar transacciones electrónicas.

2.6. Recomendación de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones ITU

- Recomendación ITU-TG.652: esta recomendación habla entre otros de las características físicas y mecánicas de la fibra óptica monomodo para proyectos de telecomunicaciones de largo alcance.

- Recomendación ITU-T G.662: esta recomendación habla de los componentes electrónicos para la amplificación de la señal óptica.

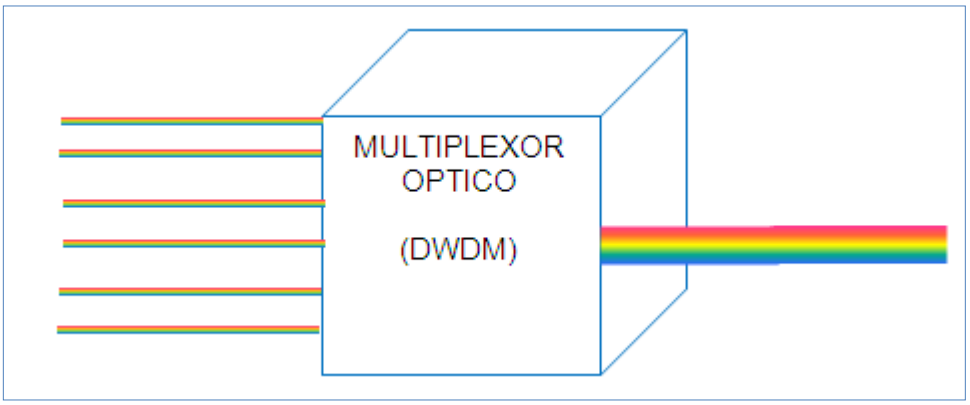
- Recomendación ITU-T G.661: esta recomendación habla de los métodos de prueba para los parámetros de amplificadores ópticos.

2.7. Componentes básicos de una red DWDM

DWDM significa por sus siglas en inglés: Dense wavelength division multiplexing [Multiplexacion por división de longitud de onda densa], la Multiplplexacion se refiere hablando genéricamente a varias entradas de señal que se ordenan para tener una sola salida de señal, y en este caso articular señales analógicas (espectro óptico).

Figura 8.

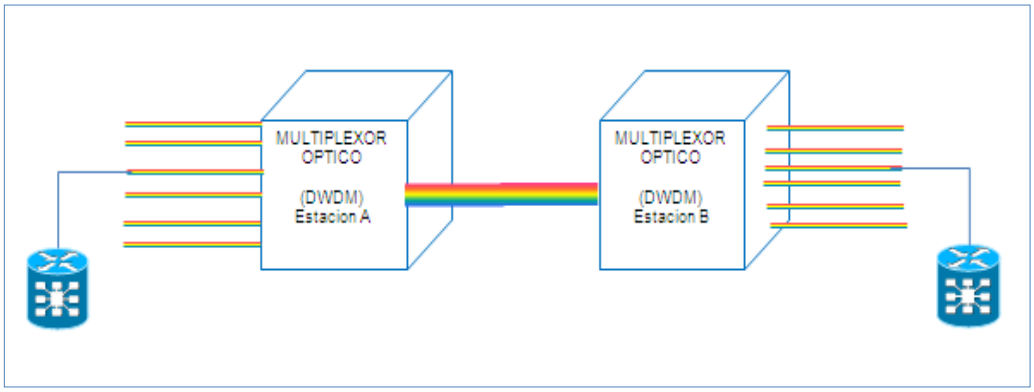
Multiplexor óptico (DWDM)



Nota. Representación esquemática del proceso de multiplexación óptica (DWDM). Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 9.

Enlace óptico ideal con tecnología DWDM



Nota. Topología punto a punto de un enlace óptico DWDM. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la realidad para establecer un enlace DWDM se debe llevar a cabo los siguientes requisitos.

- Las portadoras ópticas deben estar en determinada longitud de onda, con un ancho de banda definido y con una amplitud determinada.

- Se debe agregar un encabezado a cada portadora a manera de tener control sobre la misma.

- Multiplexar las señales ópticas.

- Tener la suficiente energía para llevar la señal del punto A al punto B.

- Superar los fenómenos de la transmisión por fibra óptica.

¿Cómo se hace entonces para hacer el enlace DWDM y superar los cinco requisitos arriba mencionados?

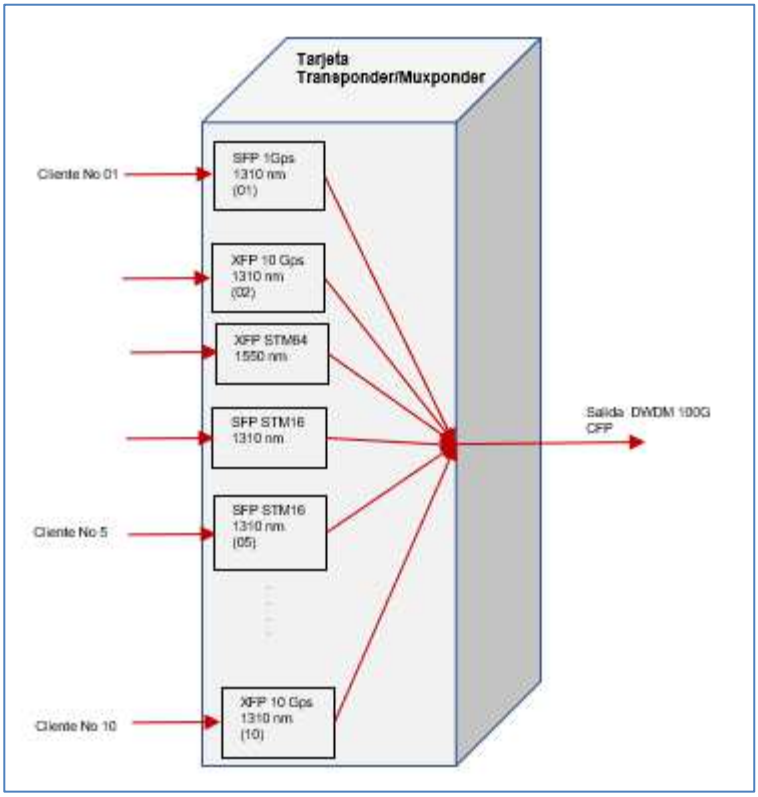
Para los primeros dos requisitos se tienen dos opciones:

  - Utilizando un equipo conversor de longitud de onda
  - Que la portadora a transportar venga ya con el estándar DWDM

    - Sobre la opción 1: para la opción de equipo conversor de longitud de onda llamado también transponder, el cual adicional a convertir la longitud de onda a un estándar DWDM, también adiciona los encabezados necesarios para la supervisión y regeneración de la señal.

Figura 10.

Tarjeta Transponder/Muxponder



Nota. Representación esquemática Transponder/Muxponder. Elaboración propia, realizado con Excel.

- La opción 2: es entregar la portadora ya con el estándar DWDM de acuerdo a la canalización siguiente:

Tabla 1.

Frecuencias ópticas

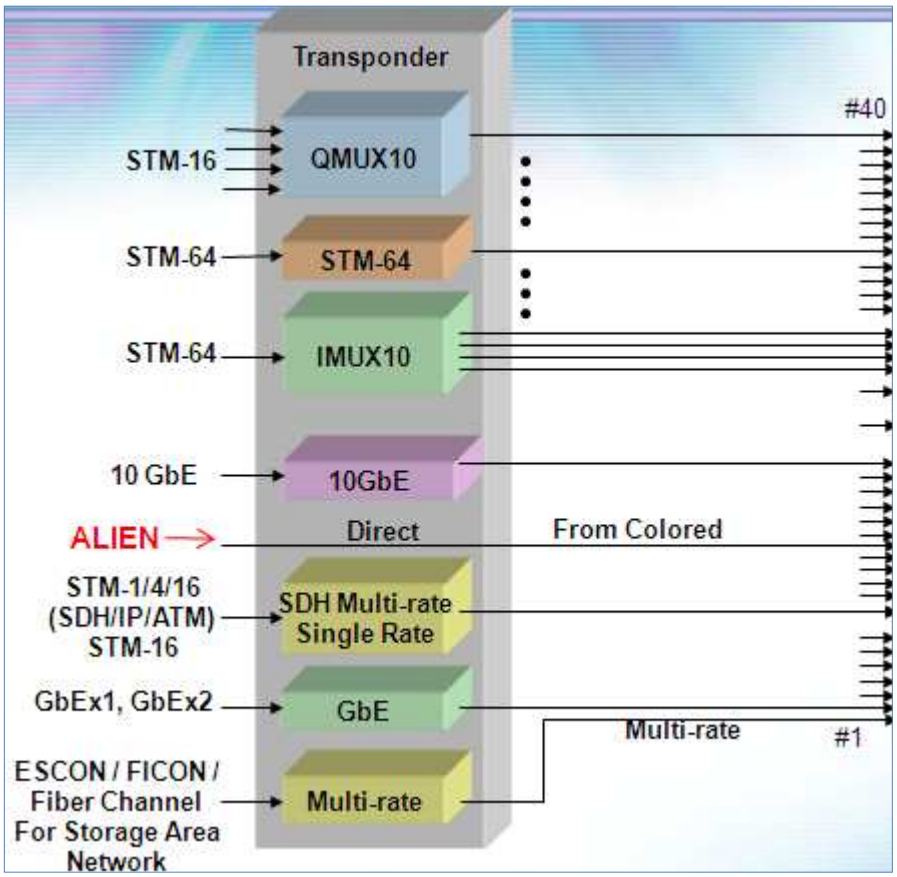
Wave channel	Center frequency(THz)	Wavelength (nm)	Number	Center frequency (THz)	Wavelength (nm)	Wave channel	Center frequency (THz)	Wavelength (nm)	Wave channel	Center frequency(THz)	Wavelength (nm)
C21	192.1	1560.61	C31	193.1	1552.52	C41	194.1	1544.53	C51	195.1	1536.61
C22	192.2	1559.79	C32	193.2	1551.72	C42	194.2	1543.73	C52	195.2	1535.82
C23	192.3	1558.98	C33	193.3	1550.92	C43	194.3	1542.94	C53	195.3	1535.04
C24	192.4	1558.17	C34	193.4	1550.12	C44	194.4	1542.14	C54	195.4	1534.25
C25	192.5	1557.36	C35	193.5	1549.32	C45	194.5	1541.35	C55	195.5	1533.47
C26	192.6	1556.55	C36	193.6	1548.51	C46	194.6	1540.56	C56	195.6	1532.68
C27	192.7	1555.75	C37	193.7	1547.72	C47	194.7	1539.77	C57	195.7	1531.90
C28	192.8	1554.94	C38	193.8	1546.92	C48	194.8	1538.98	C58	195.8	1531.12
C29	192.9	1554.13	C39	193.9	1546.12	C49	194.9	1538.19	C59	195.9	1530.33
C30	193.0	1553.33	C40	194.0	1545.32	C50	195.0	1537.40	C60	196.0	1529.56

Nota. La figura muestra el valor de las longitudes de onda para un estándar DWDM. Obtenido de HTF (2024). *Frecuencias ópticas.* (https://www.google.com/imgres?q=longitud%20fujitsu%20banda%20C%20dwdm&imgurl=https%3A%2F%2Fwww.fiber-optical-transceivers.com%2FContent%2Fuploads%2F2020533470%2F20201019173253f2fa5b36fae94ab2a53b2e74b83c0d39.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.fiber-optical-transceivers.com%2Finfo%2Fwhat-are-c-band-and-l-band-in-wdm-52187489.html&docid=EWGfBYK8zR_AxM&tbnid=DPz61QO6FS3hvM&vet=12ahUKEwi-5cKmoe6IAxUiSDABHTAyBLcQM3oECDsQAA..i&w=850&h=487&hcb=2&ved=2ahUKEwi-5cKmoe6IAxUiSDABHTAyBLcQM3oECDsQAA), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

- Para el caso que la señal entregada ya esté en estádar DWDM se denomina Portadora Alien, también conocido como portadora coloreada, con lo cual el *transponder* es *bypaseado* o puenteado.

Figura 11.

Muxponder con cliente Lambda Alien

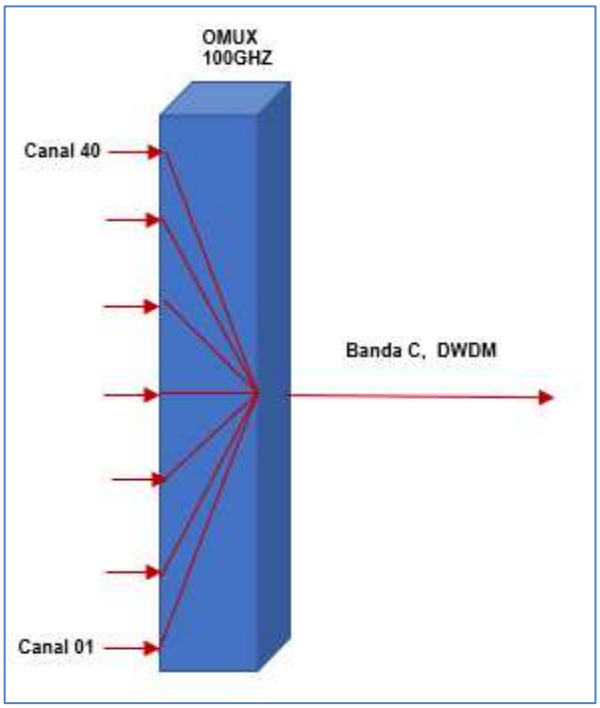


Nota. La figura muestra diferentes tipos de señal que pueden convertirse al estándar DWDM, así como una señal lambda Alien pasa directo sin el proceso que llevan las otras señales. Obtenido de Orchestrating a brighter world NEC [Orquestando un mundo más brillante NEC] (2022). *Realization of open optical transport* [Realización del transporte óptico abierto].(https://jpn.nec.com/nsp/open_optical_transport/pdf/wp_realization-of-open-optical-networks_en.pdf), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

- La opción 3 Multiplexar las señales: una vez las señales ya están en el formato estándar del DWDM, se procede entonces a multiplexarlas.

Figura 12.

Multiplexacion de señales ópticas



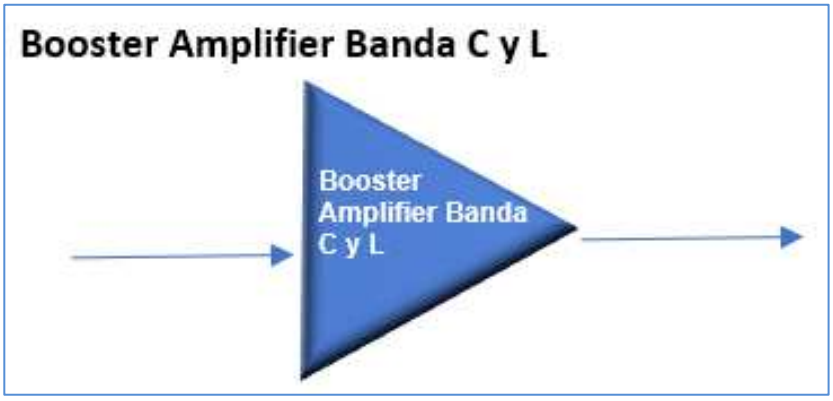
Nota. La figura muestra como todas las señales se multiplexan bajo el estándar óptico para convertirse en una sola portadora. Elaboración propia, realizado con Excel.

- La opción 4. Para llevar la luz que ha entregado el Mux Óptico desde un punto “A” a un punto “B”, es necesario hacer uso de amplificadores de potencia Ópticos.

- Como cualquier amplificador de señal, cada uno de ellos tiene una determinada figura de ruido, este parámetro será entre otros el que afectará la relación de señal a ruido óptico OSNR, de los servicios que serán transportados por una red óptica ITU-T G.698.2 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2018).

Figura 13.

Amplificador óptico

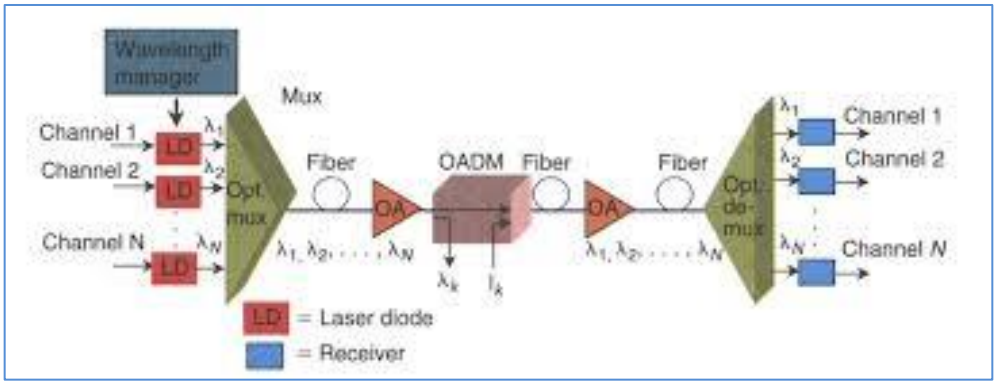


Nota. Representación esquemática de un Amplificador óptico Banda C y L. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Finalmente, con todos los elementos de red antes mencionados se tiene el enlace DWDM.

Figura 14.

Enlace DWDM



Nota. Figura muestra diferentes componentes para establecer un enlace DWDM. Obtenido de Enlace DWDM Fiber Optic Solutions (2024). *Wavelengh manager* [Gerente de longitud de onda]. (https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQBYXzyHLloP4HyfuCA2gMa_jE1pkVuRfifkQ&s), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización

El presente proyecto tiene el objetivo de implementarse en el Campus Central y en el Centro Universitario Metropolitano ambos de La Universidad de San Carlos de Guatemala; a su vez dentro de las sedes universitarias, se han elegido edificios administrativos y de recursos educativos para crear una topología mallada de transmisión de datos de gran ancho de banda. Las ubicaciones físicas de ambos centros universitarios son las siguientes:

3.1.1. Campus Central Universidad de San Carlos de Guatemala

Avenida Petapa, Zona 12 Ciudad de Guatemala, coordenadas 14°35'17.19"N/ 90°33'2.42"W.

Figura 15.

Campus Central USAC

Nota. La imagen muestra el lugar donde está ubicado el Campus Central. Obtenido de Google Earth (2024) *Universidad de San Carlos de Guatemala*. (https://earth.google.es/), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.1.2. Centro Universitario Metropolitano

El Centro Universitario Metropolitano lo componen las Facultades de Ciencias Médicas y Escuela de Ciencias Psicológicas, así como el Consejo de Administración, Control de Seguridad, Mantenimiento y Suministros de los edificios; ubicados en 9na Avenida Zona 11 Ciudad de Guatemala, coordenadas 14°36'39.56"N/ 90°32'43.34"W.

Figura 16.

Centro Universitario Metropolitano CUM

Nota. La imagen muestra el lugar donde se encuentra ubicado el Centro Universitario. Obtenido de Google Earth (2024) *Centro Universitario Metropolitano.* (https://earth.google.es/), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

Figura 17.

Imagen ilustrativa Centro Universitario Metropolitano

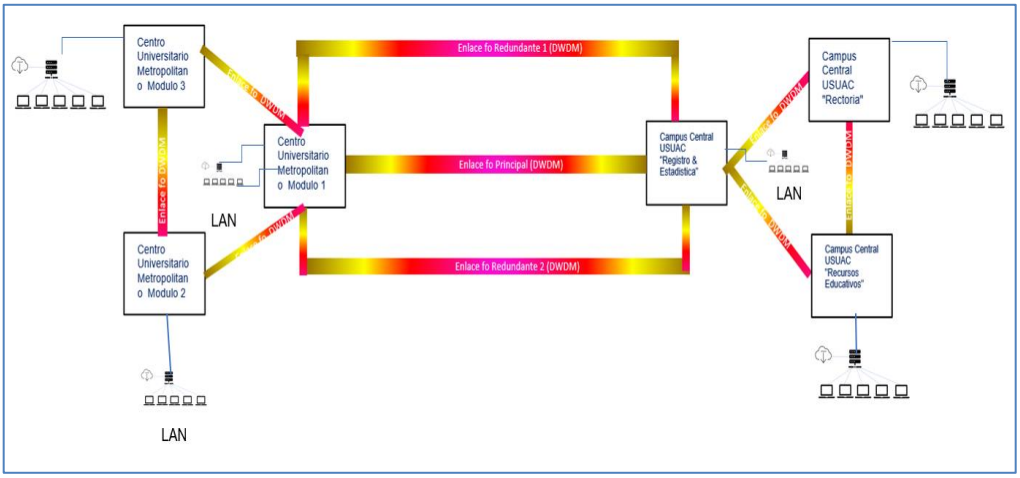
Nota. La imagen muestra los cuatro módulos principales que conforman el Centro Universitario. Obtenido de la DIGA (2024). *Centro Universitario Metropolitano.* (https://diga.usac.edu.gt/?page_id=188), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente estudio de EPS está dirigido a construir una red óptica de transmisión de datos que unirá al Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala con el Centro Universitario Metropolitano; el punto de interconexión de esta nueva red óptica con la actual infraestructura de red de la universidad es la Red LAN Local de cada uno de estos dos centros universitarios.

Figura 18.

Topología delimitación campo de estudio proyecto



Nota. Figura muestra los sitios donde se instalarían equipos ópticos para crear la nueva red de gran ancho de banda. Elaboración propia, realizado con Excel.

Así mismo, el tiempo de construcción de esta nueva red desde el diseño hasta la implementación es de un año calendario.

3.3. Recursos disponibles

Dado que es un proyecto nuevo toda la infraestructura interna como externa debe construirse desde cero, es decir, este proyecto es lo que se denomina Green field.

3.4. Herramientas

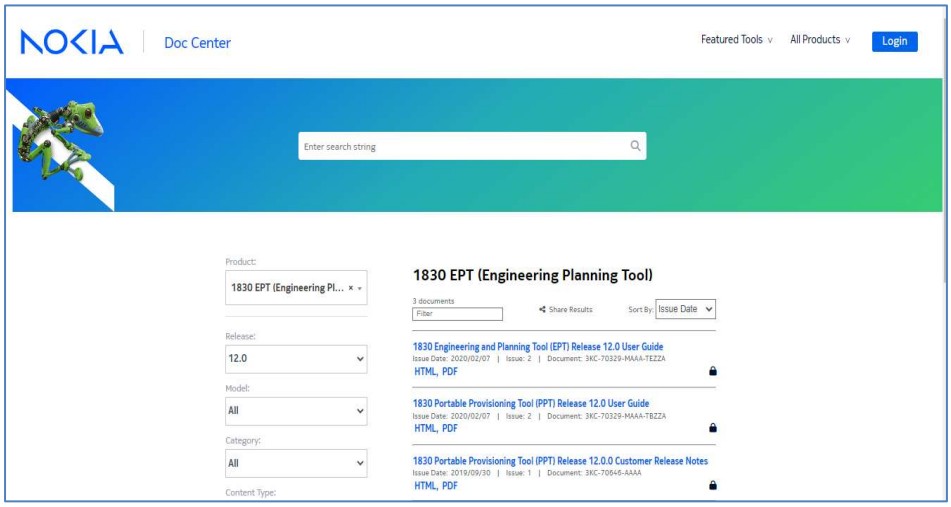
Para el desarrollo de redes de transporte óptico los proveedores de equipos utilizan su propia herramienta de diseño, por ejemplo:

- El proveedor Cisco utiliza CPT
- El proveedor Nokia utiliza EPT
- El Proveedor Huawei Utiliza Netstar

En la Figura 19 se muestra el portal de proveedor equipos y su herramienta de diseño.

Figura 19.

Software de diseño



Nota. En la imagen se muestra el reléase del Software. Obtenido de Software de diseño Imagen Nokia EPT (2024). *1830 EPT Engeniering Planning Tool* [Herramienta de planificación de ingeniería 1830 EPT]. (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

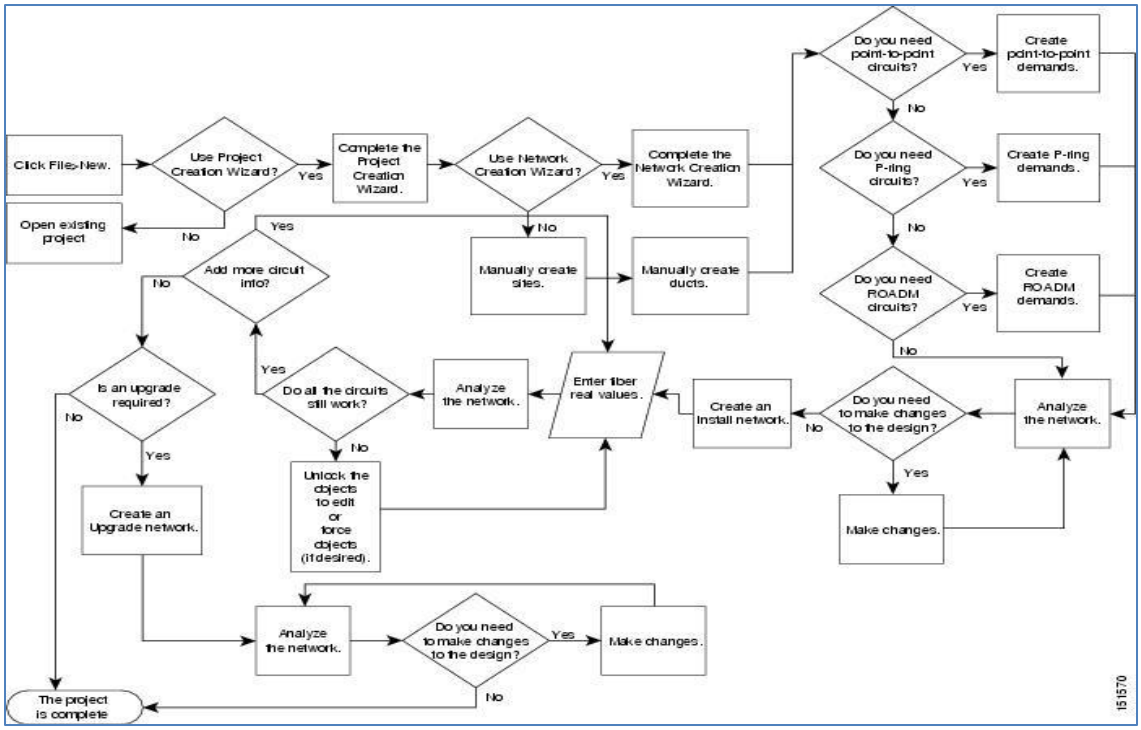
Para el caso, se utilizarán tres tipos de cálculos:

- Cálculos de presupuesto óptico entre los ODF de empalme (que va hacia la calle), de cada uno de los segmentos involucrados.
- Cálculos de OSNR de las demandas DWDM.
- Cálculos de calidad BER.

Así mismo, se tomará de referencia el flujograma del fabricante Cisco mostrado en la Figura 20.

Figura 20.

Flujograma diseño red DWDM



Nota. El gráfico muestra las etapas desde su creación hasta completar el proyecto de diseño de una nueva red DWDM. Obtenido de Cisco (2024). Metroplanner [Metroplanificador]. (https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/metroplanner/metroplanner_10_6_2/operations/guide/b-454mp-opsguide.pdf), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.5. Descripción general proyecto

A continuación, se describe el diseño de alto orden para implementar una red de transporte óptico DWDM entre el campus central de la USAC y el Centro Universitario Metropolitano. El objetivo de esta red de transporte óptico es darle transmisión entre las redes red LAN de cada uno de estos centros universitarios, dicha red óptica de transporte tiene las siguientes características generales:

- tecnología DWDM
- tecnología ROADM
- Red con redundancia
- Matriz OTN
- Protección con tecnología ASON
- Capacidad de hasta 8 canales ópticos con opción a futuro crecimiento hasta 88 canales.
- Capacidad de transmisión de hasta 200Gbps por canal.
- Capacidad de transporte para diferentes tipos de servicios tales como GPon, LAN Phy (1G, 10G, 100G).

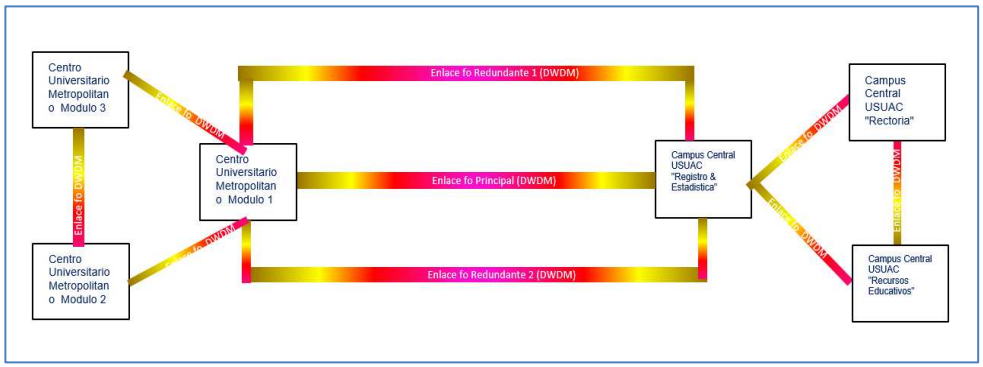
3.6. Topología

Se ha considerado seis edificios o módulos universitarios en las dos sedes universitarias, tres de ellas en el campus Central y las otras tres en Centro Universitario Metropolitano.

La topología física de este proyecto se muestra en la Figura 21.

Figura 21.

Topología general red DWDM



Nota. La figura muestra las unidades académicas que estarían conectadas por la nueva red óptica de gran ancho de banda. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.7. Sitios involucrados

El nombre de los edificios universitarios involucrados en este proyecto son los siguientes:

Tabla 2.

Sitios red DWDM

No.	Nombre	Sede	Comentarios	Coordenadas
1	Registro y estadística	USAC	Core	14°35'17.19"N/ 90°33'2.42"W
2	Rectoría	USAC	acceso	14°35'17.63"N / 90°33'6.12"W
3	Recursos educativos	USAC	acceso	14°35'12.91"N/90° 33'6.87"W
4	Oficinas Administrativas 1	CUM	Core	14°36'39.56"N/ 90°32'43.34"W
5	Oficinas Administrativas 2	CUM	acceso	14°36'42.50"N/ 90°32'44.26"W
6	Oficinas Administrativas 3	CUM	acceso	14°36'41.62"N/ 90°32'42.05"W

Nota. Las coordenadas de los sitios de la presente tabla se utilizaron para el cálculo de las distancias ópticas. Elaboración propia, realizado con Word.

3.8. Rutas de fibra

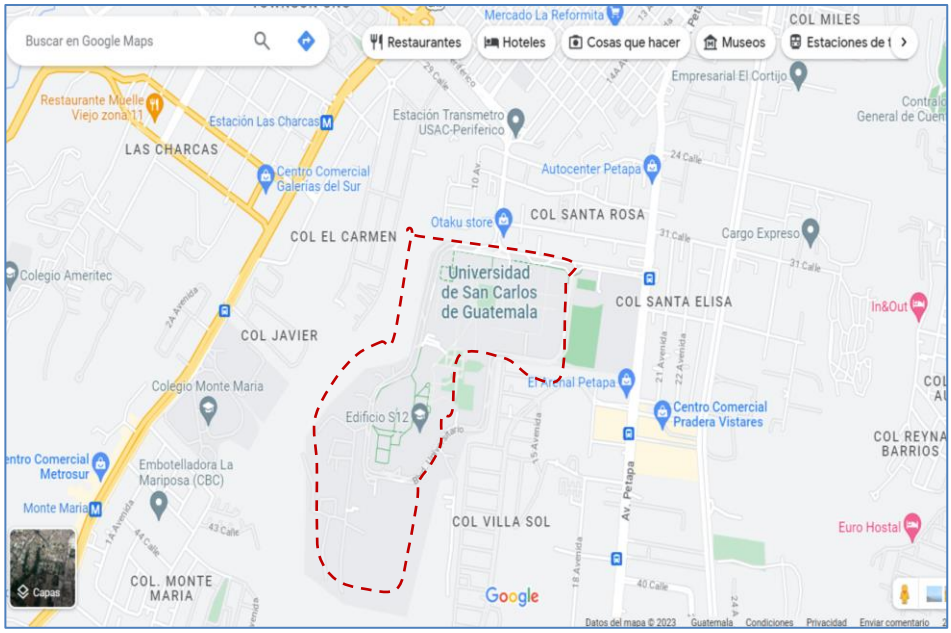
La fibra óptica es un medio de transmisión de información que utiliza hilos muy finos de vidrio o plástico para transmitir señales de luz, lo que permite una comunicación más rápida, confiable y segura y unirá las instalaciones del Centro Universitario metropolitano con el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

3.9. Ubicaciones físicas edificios universitarios

A continuación, se muestran las ubicaciones físicas de los centros universitarios visto desde Google Maps.

Figura 22.

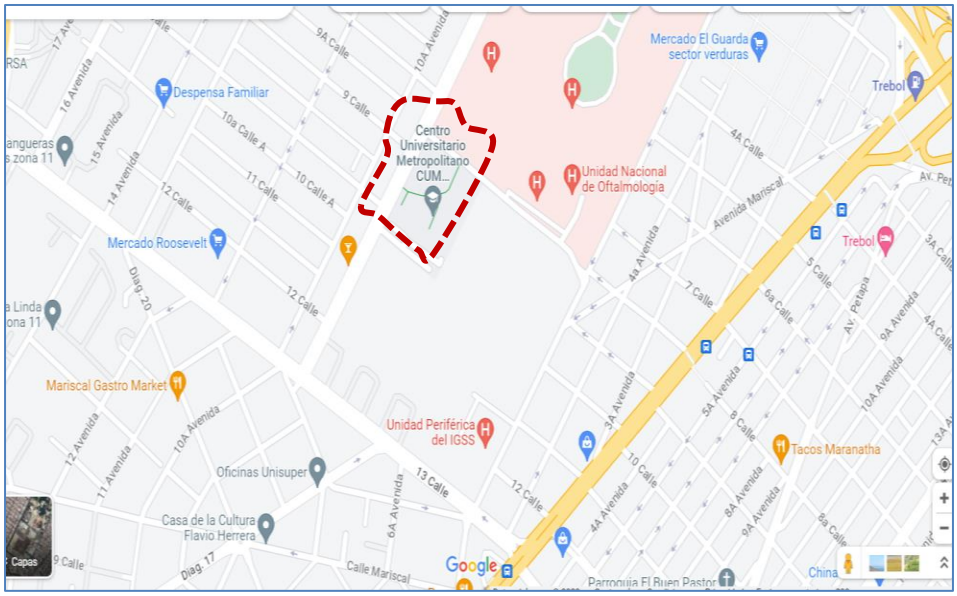
Campus Central USAC Zona 12



Nota. La imagen muestra el lugar donde se encuentra el Campus Central. Obtenido de Google Eart (2024). *Universidad de San Carlos de Guatemala.* (https://www.usac.edu.gt/mapausac.php), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

Figura 23.

Centro Universitario Metropolitano USAC



Nota. La imagen muestra el lugar donde se encuentra el Centro Universitario. Obtenido de Google Eart (2024). *Centro Universitario Metropolitano.* (https://www.usac.edu.gt/mapausac.php), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público

3.10. Rutas de fibra óptica

Según la topología física mostrada arriba, el proyecto incluye tres rutas de fibra entre los nodos principales o Core de ambos centros universitarios, a continuación, se presentan las rutas físicas de fibra, así como la distancia de los segmentos.

- Ruta diagonal 17, distancia de 4.2 KM

Figura 24.

Ruta de fibra por diagonal 17

Nota. La imagen muestra una ruta de fibra propuesta por Google Eart**.** Obtenido de Google Eart (2024) *Ruta Diagonal 17*. (https://earth.google.es/f), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

- Ruta Calzada Aguilar Batres, distancia de 4.3 KM

Figura 25.

Ruta de fibra por Ruta Calzada Aguilar Batres

Nota. La imagen muestra una ruta de fibra propuesta por Google Eart. Obtenido de Google Eart (2024). *Ruta Calzada Aguilar Batres.* (https://earth.google.es/), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

- Ruta 11 Avenida, distancia de 3.7 KM

Figura 26.

Ruta de fibra por 11 avenida

Nota. La imagen muestra una ruta de fibra propuesta por Google Eart. Obtenido de Google Eart (2024). *Ruta 11 avenida.* (https://earth.google.es/), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

3.10.1. Fibra edificios

Para la fibra óptica dentro de los centros universitarios y que conectan a los diferentes módulos de la topología, se ha considerado una distancia promedio de 1 000 metros, a continuación, se muestra en la Figura 27.

Figura 27.

Topología física edificios involucrados Campus Central USAC

Nota. La imagen muestra el lugar donde se encuentra la topología física de edificios involucrados. Obtenido de Google Eart (2024) *Recursos Educativos.* (https://earth.google.es/), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

Figura 28.

Topología edificios Centro Universitario Metropolitano

Nota. La imagen muestra el lugar donde se encuentra la topología física edificios involucrados en Centro Universitario Metropolitano. Obtenido de Google Eart (2024). *CUM Edificio 1.* https://earth.google.es/), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

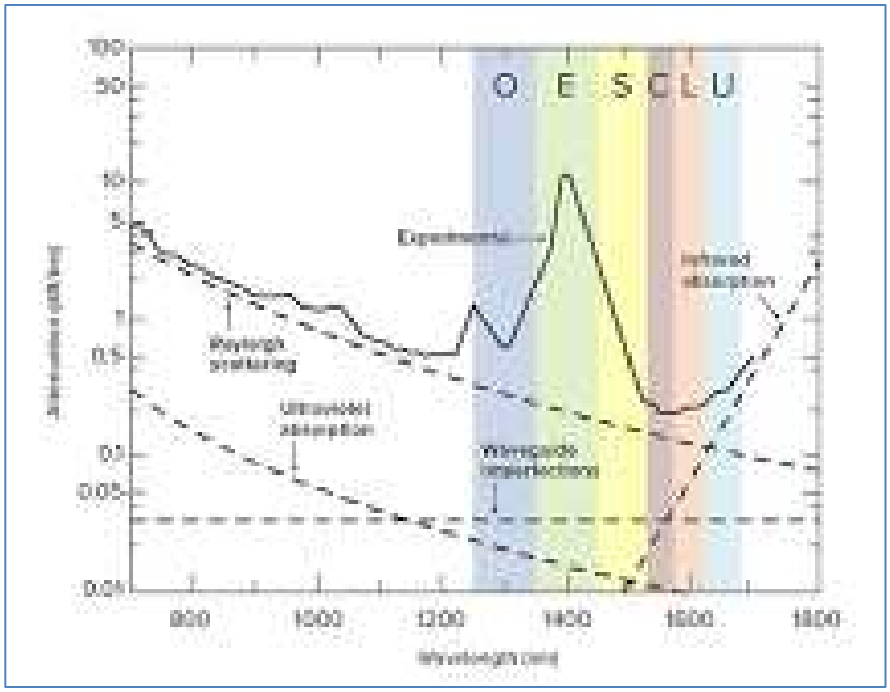
3.11. Tipo de fibra proyecto

Para este proyecto se propone la utilización de fibra bajo el estándar ITU G.652, esta fibra ofrece la mejor respuesta a la transmisión de señales debido a baja atenuación, en promedio por kilómetro dicha atenuación es de 0,25 dB/KM. Esta fibra es de característica monomodo.

A continuación, se muestra el espectro en banda C.

Figura 29.

Espectro Banda C

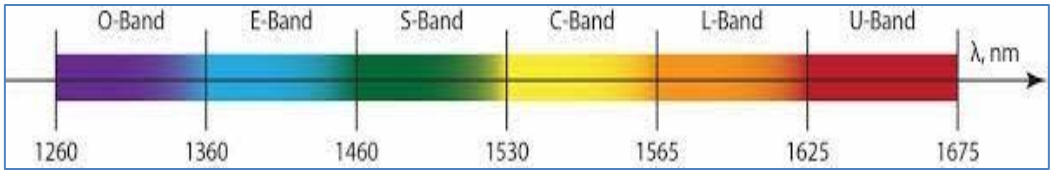


Nota. En el gráfico se muestra la atenuación en diferentes longitudes de onda para la Banda C. Obtenido de Espectro de Banca C Infinera (2024). *Optical transmission* [Transmisión óptica]. (https://www.infinera.com/blog/all-you-ever-wanted-to-know-about-optical-transmission-bands/tag/optical/), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

Así mismo, en la Figura 30 se muestra el espectro de operación en banda C, el cual es el rango de frecuencias en nanómetros donde operarán los equipos de transmisión DWDM.

Figura 30.

Espectro óptico, Banda C



Nota. En el gráfico se muestra la ubicación de la Banda C. Obtenido de Edge internet (2024). *Espectro.* https://www.ciena.es/insights/what-is/What-Is-WDM_es_LA.html), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.12. Infraestructura de red fibra óptica

Para este proyecto se propone fibra posteada; hay dos formas de obtener esta infraestructura, una es la construcción propia y la segunda opción es renta a proveedores de infraestructura ya establecidos en Guatemala.

Figura 31.

Fibra aérea en poste

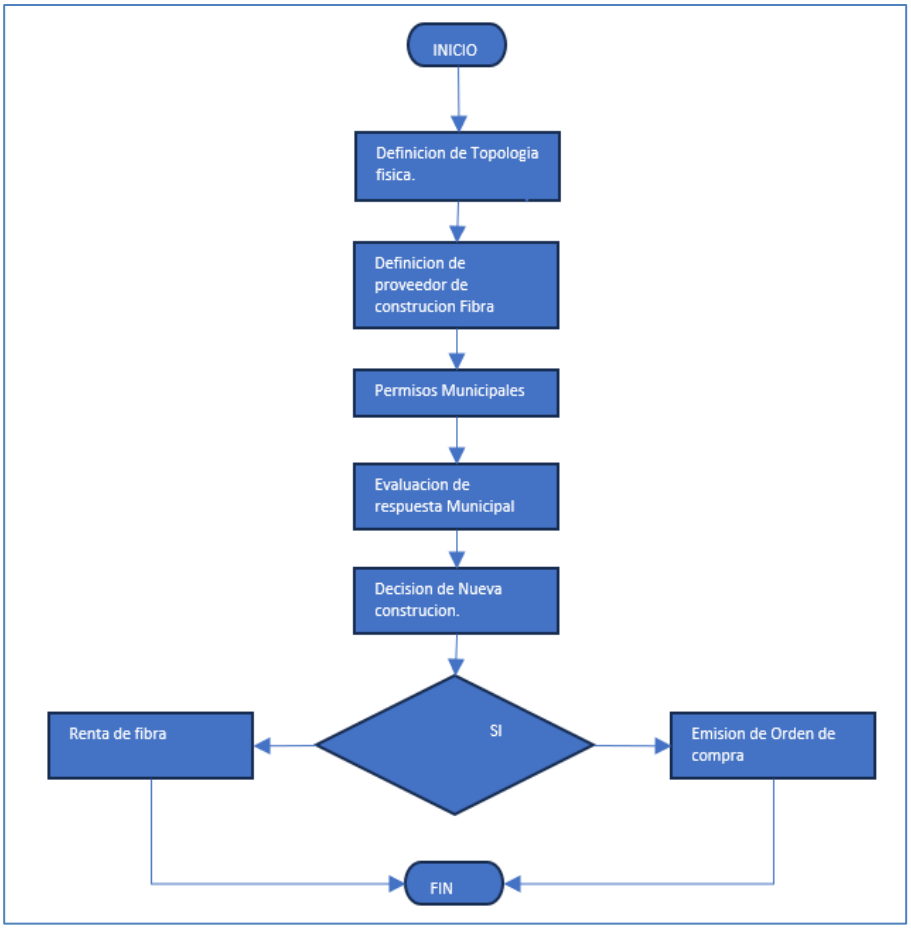
Nota. La imagen muestra la infraestructura de fibra para el montaje en poste. Obtenido de Osiptel (2024). *Crucetas acondicionadas.* https://www.osiptel.gob.pe/media/rddp3q0m/informe060-dprc-2021-apendice-ii-1-2.pdf), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.13. Fibra propia del proyecto

Para lograr este objetivo es necesario cumplir con los siguientes pasos como se muestra en el diagrama de la Figura 32.

Figura 32.

Flujograma de dos alternativas



Nota. Flujograma que muestra las dos alternativas para obtener la infraestructura de fibra del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como se observa, un punto muy importante del proyecto es la respuesta de permisos municipales para la construcción de infraestructura de fibra, aquí también hay que evaluar el tiempo de ejecución de la nueva construcción de infraestructura que incluye.

3.14. Tipo de poste: metálico o de madera

Tipo de cable: G 6,52 De 12, 36 hilos de fibra, con hilo de guarda acerado, vano entre postes: Cada 50 metros herrajes y cinchos metálicos: de material galvanizado

3.15. Renta de fibra

Conocido también como Leasing por sus siglas en inglés, es necesario que el contrato cumpla con:

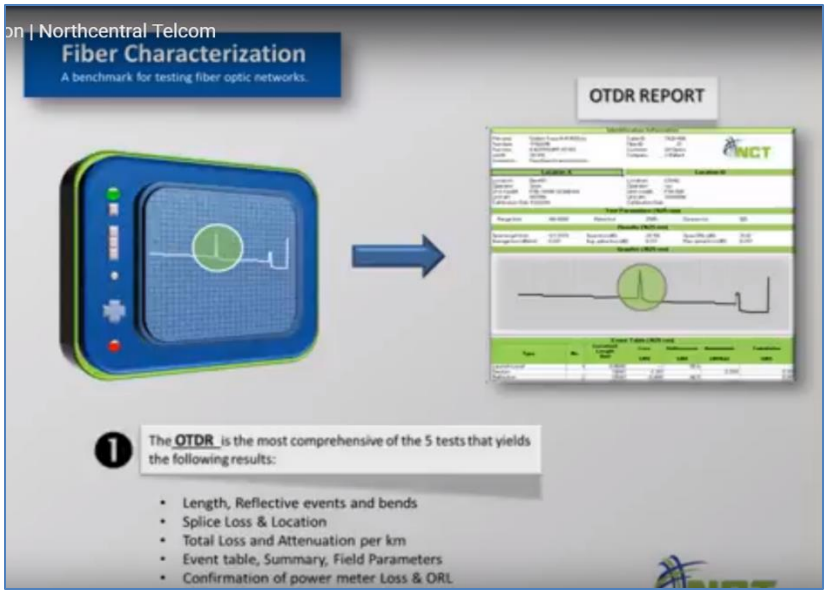
- Renta de contrato al menos por 5 años
- atención a fallas menos de 3 horas en fallas menores y de menos de 24 horas en fallas mayores.
- Atenuación por empalme en caso de reparaciones de menos de 0,1dB
- Renta de 2 pares de hilos por segmento.
- Reporte de caracterización de fibra al momento de entrega nueva.
- Reporte de caracterización de fibra en caso de falla mayor tal como cambio de ruta de fibra por parte del proveedor.

3.16. -Caracterización de fibra

Bien sea que se construya la infraestructura de fibra como propia o se rente (leasing), debe certificarse la fibra según el estándar Recommendation ITU-T G.652 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016), para que se cumplan con los valores permisibles de:

Figura 33.

Caracterización fibra óptica



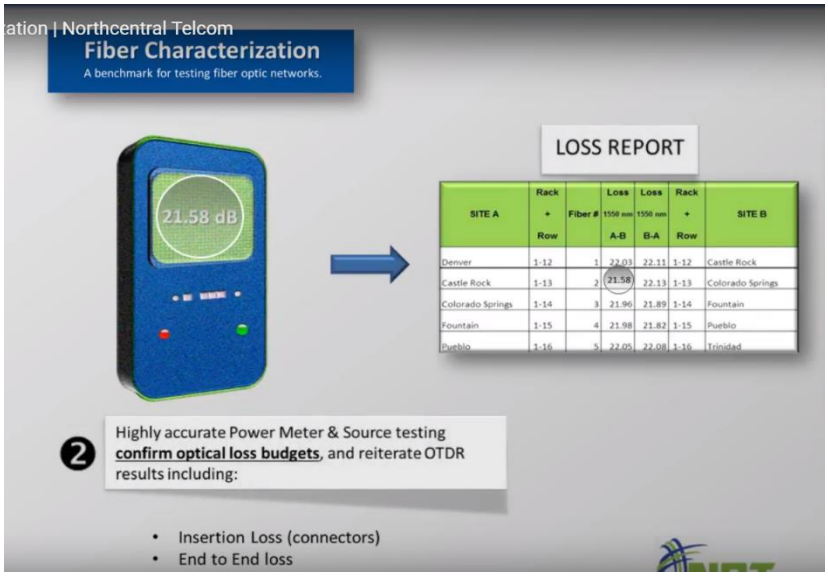
Nota. La imagen muestra un evento de atenuación en fibra óptica. Obtenido de Northcentral Telcom (2024). *Fiber characterization* [Caracterización de fibras]. (https://www.teamnct.com/telecom-services/fiber-characterization/), consultado el 15 de marzo de 2024. De dominio público.

3.17. Atenuación

Dentro de los parámetros permitidos con un valor teórico de 0,25dB/KM.

Figura 34.

Atenuación



Nota. La imagen muestra como la fibra se va atenuando según la distancia recorrida, perdida por kilometro. Obtenido de Northcentral Telcom (2024). *Fiber characterization* [Caracterización de fibras]. (https://www.teamnct.com/telecom-services/fiber-characterization/), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

3.18. CD/PMD

Dentro de los parámetros permitidos para una señal patrón de STM64 según norma ITU G.652

En la Figura 35 se muestra equipo para medición de PMD

Figura 35.

PMD

Nota. La imagen muestra un equipo donde se visualiza el espectro óptico de una fibra caracterizada, entre lo resultados está el PMD. Obtenido de EXFO (2024). *Soporte técnico de productos.* (https://www.exfo.com/es/asistencia/products?page=3), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

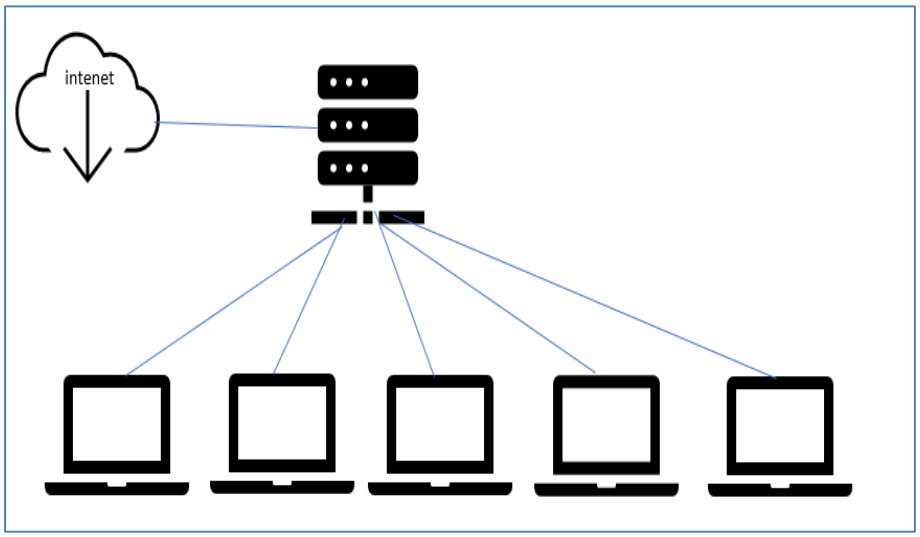
3.19. Red LAN local

Las redes locales LAN del Campus Central como del CUM serán interconectadas entres si por una red de transporte óptico DWDM de nueva generación, de tal forma que, aunque exista doble corte de fibra entre estos dos centros, la comunicación entre ambas redes LAN no se perderá.

Se ha estimado una interfaz de 2X10Gbps como cliente de la red DWDM en configuración LAN PHY.

Figura 36.

Red LAN



Nota. Red Lan, es el objetivo a dar transporte óptico de gran ancho de banda. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.20. Equipos

Se consideran equipos de transmisión DWDM que deben tener las siguientes funcionalidades:

- ROADM
- Capacidad de 8 canales ópticos
- Matriz de conexión OTN
- Colorless
- Directionless
- Canal de supervisión segmento óptico
- Ason

A continuación, se describen las funcionalidades anteriormente descritas.

3.21. ROADM

Por sus siglas en inglés (*Reconfigurable optical add droop multiplexer*), el equipo debe cumplir con funcionalidades y recomendaciones de la ITU así como de la IEEE tales como:

- G 694.1
- Suplemento 43 a las Recomendaciones UIT-T de la serie G
- Backplane óptico
- Intrerfaz óptica Gbps
- Transponder
- Muxponder
- OTN
- Interconexion Cliente-WDM

Se ha elegido este tipo de tecnología de transporte óptico debido a las funcionalidades que integra, así como pensando en la evolución de una red óptica para el mediano plazo que conecte con el resto de los centros universitarios del país con un ancho de banda (Mbps), ilimitado.

A continuación, se muestra una imagen de un equipo ROADM real, así como de su configuración lógica interna. Equipos DWDM ROADM.

Figura 37.

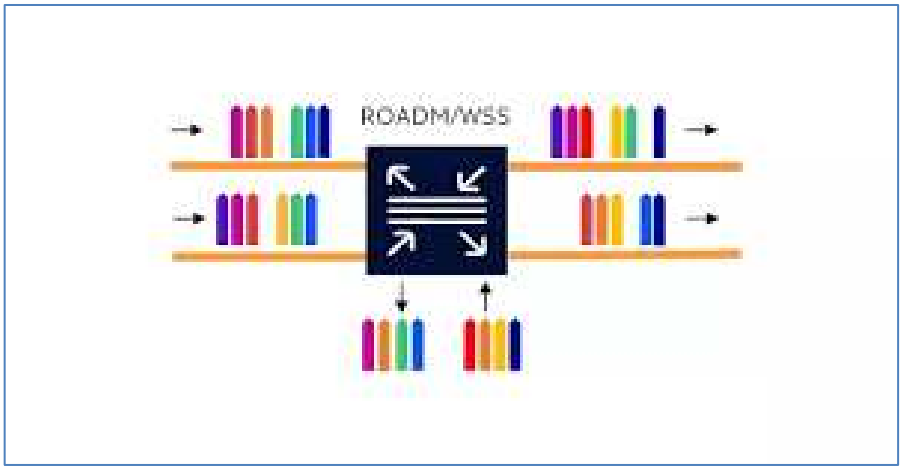
Ciena ROADM

Nota. En la figura se muestra algunos modelos de equipos. Obtenido de S. Bucley (2023). *KT emplea el 6500 ROADM de Ciena para su ruta de transmisión de 600G en Corea del Sur.* (https://www.lightwaveonline.com/home/article/14303063/kt-employs-cienas-6500-roadm-for-its-600g-south-korean-transmission-route), consultado el 25 de marzo de 2024. De dominio público.

A continuación, se muestra la configuración lógica ROADM

Figura 38.

Nokia ROADM



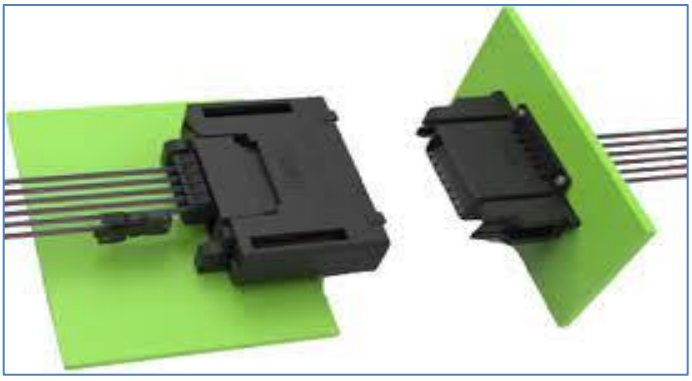
Nota. En la figura se muestra como diferentes longitudes de onda mostradas en colores distintos pueden viajar en cualquier dirección. Obtenido de Nokia (2024). *Sistemas de líneas ópticas 1830, soluciones ROADM y C+L para redes WDM reconfigurables y escalables.* (https://www.nokia.com/networks/optical-networks/1830-optical-line-systems/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.22. Backplane

Los equipos ópticos deben tener un *Backplane* (parte de interconexión de tarjetas lado de atrás), óptico ya que a diferencia de los *Backplane* cableados, esto reduce consumo de energía, así como minimiza la huella de equipos al no existir cableados internos del equipo.

Figura 39.

SENKO optical backplane connector



Nota. En la figura se muestra el conector entre diferentes módulos, ya no se realizan por patchcord de fibra sino por fibras incrustadas en el backplane de equipos. Obtenido de Senko Advance (2024). *Backplane óptico. SENKO optical backplane connector* [Conector de placa posterior óptica SENKO]. (https://www.senko.com/product/optical-backplane-connector/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.23. Interfaz óptica

Un equipo ROADM es capaz de transportar diversos tipos de cliente óptico tales como LAN PHY de 1G, 10G y 100G dependiendo de la necesidad de crecimiento, para el cálculo de la velocidad de la interfaz a proveer en el proyecto se hace uso de KPI de ancho de banda actual de las redes LAN de ambos centros universitarios, ejemplo cálculo KPI interfaz LAN.

Tabla 3.

Cuadro KPI Interfaz LAN

No	Interfaz actual	comando de verificación LAN	medición	Porcentaje de utilización	Interfaz a solicitar
1	1G	**show ip interface brief**	400 Mbps	0,4	1X1G
2	10 G	**show ip interface brief**	7,35G	0,735	2X10 G

Nota. En la tabla se muestra el comando IP para verificar el consumo actual de ancho de banda de la red LAN. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Para este proyecto se ha considerado 2 interfaz de 10G cada una entre los dos centros universitarios.

3.24. OTN

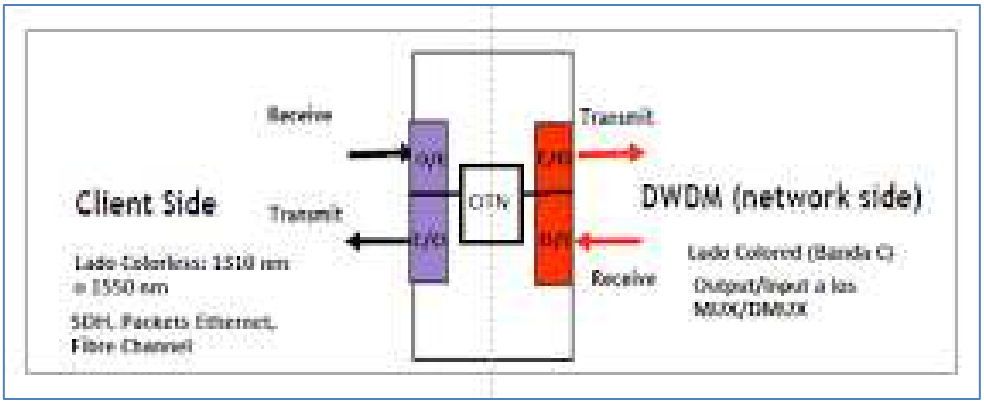
Para la solución de este proyecto, se consideran 2 interfaz de 10G cada una; también se debe incluir matriz OTN a manera que un crecimiento futuro de interfaz óptica con solo adquirir los nuevos puertos clientes ya sea d 1G, 10G incluso 100G.

3.25. Línea OTN

Se debe considerar una línea OTN de 100G a manera que quede listo para un crecimiento de mediano plazo, tal como lo indica la tabla de KPI mostrada arriba, con la nueva adquisición de 2 interfaz 10G, se estará utilizando en un principio el 20 % de la capacidad de línea con un 80 % para crecimiento futuro en la capa óptica.

Figura 40.

Matrix OTN Cepetel



Nota. En la imagen se muestra los bloques de conversión óptico-electrico en la Matrix OTN. Obtenido de Cepetel (2024). *Matriz OTN.* (https://www.cepetel.org.ar/wp-content/uploads/2021/07/3b-Redes-Multimediales-DWDM-parte-2.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

La línea de la matriz OTN deberá conectarse con un puerto cliente de categoría coherente, esto con el objetivo de no incluir en el diseño compensadores de dispersión ya que al ser coherente este compensa electrónicamente esta dispersión.

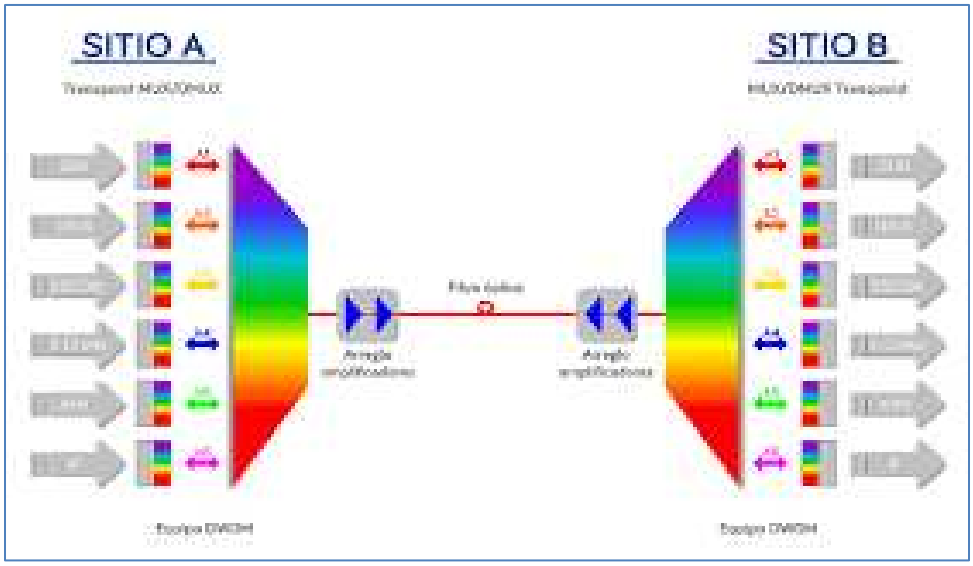
3.26. Capacidad de 8 canales ópticos

En el estándar ITU DWDM existen separación de 100 GHz y 50 GHz dependiendo la cantidad de canales que el fabricante ofrezca; dichos canales son también llamados lambdas el cual es una señal analógica de luz que multiplexada en el estándar DWDM recorrió la fibra óptica de origen a destino.

Para este proyecto se considera una capacidad de 8 canales ópticos con separación de 100GHz, en la imagen de abajo se muestran los canales transmitiendo de origen a destino.

Figura 41.

Enlace óptico

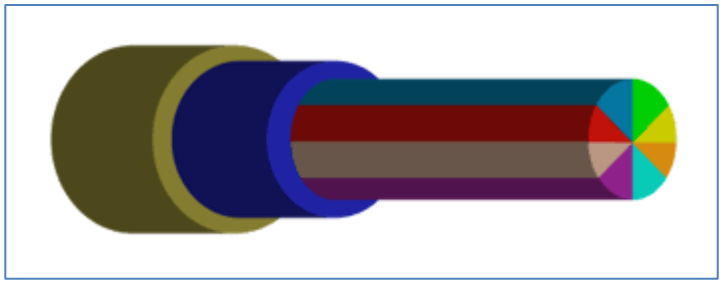


Nota. En la figura se muestra como en el estándar DWDM las diferentes longitudes de onda se unen para transmitirse en una sola portadora óptica Banda C. Obtenido de InterNexa (2024). *Equipo DWDM.* (https://blog.internexa.com/es/que-es-dwdm), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

En la imagen de abajo se muestra una representación gráfica de cómo los 8 canales DWDM viajan a través de la fibra G652.

Figura 42.

Señales ópticas en cable de fibra



Nota. En la figura se muestra como diferentes longitudes de onda mostradas en distintos colores, viajan por la fibra llevando información de un punto a otro. Obtenido de G. Ceballos (2024). *¿Qué es DWDM y cuál es su relación con los grandes volúmenes de datos?* (https://blog.internexa.com/es/que-es-dwdm), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

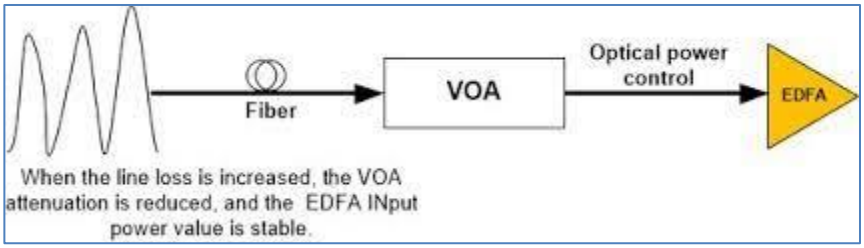
3.27. Ecualización de señales DWDM

Los canales ópticos en estándar DWDM viajan en un mismo tubo de fibra óptica, pero debido a que recorren grandes distancias, se ve afectada la potencia óptica de las portadoras de tal manera, que es necesario un mecanismo ecualice la potencia de los diferentes canales, este mecanismo se denomina por sus siglas en ingles VOA (*variable optical attenuator* [atenuador óptico variable] (Zhang, 2004). Es por esta razón que los equipos deben contar con esta funcionalidad.

En la Figura 43 se muestra una imagen de ubicación del VOA en un enlace óptico con tecnología DWDM.

Figura 43.

Amplificador óptico variable



Nota. En la figura se muestra como el Amplificador óptico variable compensa los incrementos de potencia para entregar una señal estable al amplificador de línea EDFA. Obtenido Guilin Tryun Technology (2024). *Control potencia óptica.* (https://www.tryincn.com/voa-variable-optical-attenuator/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.28. Elección de tipo tarjeta interconexión lado cliente (LAN) y lado DWDM

Como se ha mencionado, el alcance del proyecto inicia con la señal cliente que entrega la red LAN local de cada uno de los centros universitarios, para poder transmitir la señal cliente por ejemplo 10Gbps existen varias formas de poder realizarlo.

- Por tarjeta transponder
- Por tarjeta Muxponder
- Por matriz OTN

3.29. Por tarjeta transponder

Un transponder óptico es un equipo que del lado cliente recibe una señal en gris, es decir no coloreada y que esta generalmente en 1310nm de longitud de onda, existen algunas excepciones en que tienen una longitud de onda de 1550nm; dicha señal cliente puede ser de diferente velocidad ejemplo 1Gbps, 10Gbps, 1000Gbps por otra parte la tarjeta transponder entre una señal de línea ya coloreada en el estándar DWDM.

En la Figura 44 se muestra una tarjeta transponder donde se aprecia dos conexiones frontales, una de ellas es el lado cliente (Red LAN) y la otra es el lado línea (DWDM).

Figura 44.

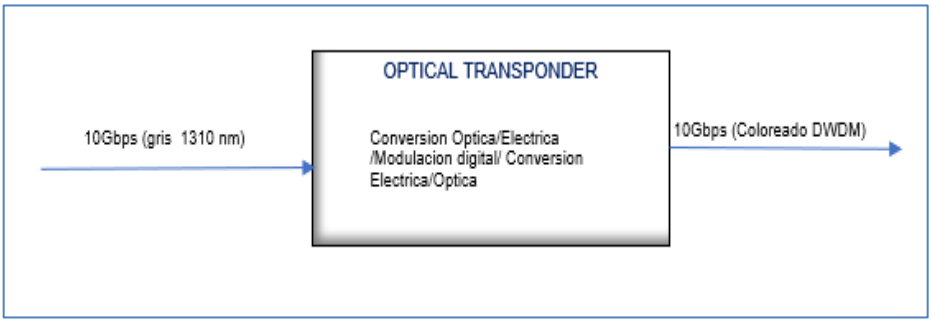
Transponder

Nota. Figura de un módulo Transponder. Obtenido Scientific Atlanta (2024). *Transponder* [Transpondedor]. (https://www.cisco.com/c/es_mx/support/video/cicso-docsis-transponder-gs7000-node/model.html), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

A continuación, se presenta la arquitectura básica de un transponder

Figura 45.

Proceso señal en transponder



Nota. En la figura se muestra como una señal en una determinada longitud de onda es convertida a una longitud de onda DWDM. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.30. Muxponder

Otra de las opciones para recibir al cliente de red LAN es por tarjeta Muxponder; la arquitectura de esta tarjeta consiste en que puede a su vez recibir varios clientes en gris (1 310nm), incluso de diferentes velocidades, los multiplexa internamente y a la salida entrega la señal óptica en el estándar DWDM ya coloreado, esta es una muy buena opción cuando se requieren enlaces punto a punto y con posibilidad de crecimiento ya que el tubo de transporte óptico DWDM se deja construido de una vez a la espera que se llene conforme al crecimiento del cliente, para el caso del proyecto es una opción ya que los fabricantes de equipos tienen entre sus opción este tipo de tarjeta.

A continuación, se muestra la arquitectura de tarjeta Muxponder

Figura 46.

Muxponder Fiber DWDM

Nota. La figura muestra la arquitectura de una tarjeta Muxponder. Obtenido de GAOTek (2024). *Muxponder.* (https://gaotek.com/category/fiber-optics/wdm-optical-accessories/cwdm-dwdm/muxponder/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

Figura 47.

Infinera XTM Muxponder

Nota. En la figura se muestra una tarjeta real Muxponder. Obtenido de Infinera (2024). *Serie Infiera XTM.* (https://www.infinera.com/wp-content/uploads/Innovative-Packet-Optical-Networks-from-Access-to-Core-0031-BR-RevB-1222-1.pdf), *consultado* el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.31. Tarjeta OTN

La tercera opción es la utilización de tarjeta OTN, esta tarjeta como se explicó en la recomendación G709 es una matriz de tráfico que administra varias entradas Clientes versus varias salidas DWDM, es el equivalente a un distribuidor vial en carreteras vehiculares.

El presente proyecto requiere en su solución tarjeta OTN ya que al también requerir la funcionalidad ASON este a su vez puede operar a nivel óptico o a nivel eléctrico (tarjeta OTN).

3.32. Capacidad de crosconexion OTN

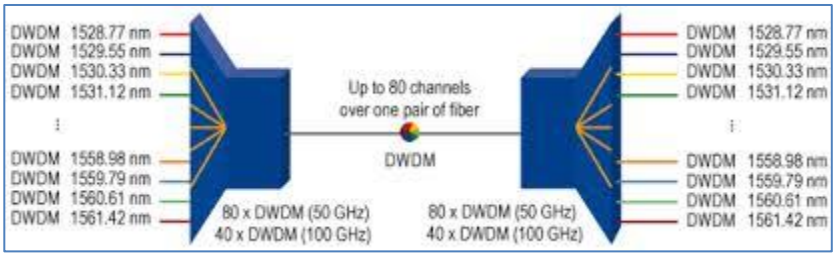
Un punto importante que se requiere en el diseño en la capacidad de crosconexion de la matriz OTN, dado que se está dimensionando que la red LAN local se dimensione con dos clientes 10G, una matriz de 100GbX10Gb o sea de 1000Gb.

3.33. Colorless

En el estándar DWDM G.694 establece según su configuración canales ópticos con separación entre sí de 50GHz o 100GHz tal como se muestra en la imagen abajo.

Figura 48.

Optimal Connectivity separación de canales



Nota. La figura muestra la separación medida en nanómetros entre cada longitud de onda. Obtenido de Optimal Connectivity (2024). *80 canales DWDM.* (https://www.google.com/search?q=optimal+connectivity+dwdm&sca_esv=0c20aff190a17909&rlz=1C1VDKB_esGT1032GT1032&udm=2&biw=1366&bih=633&ei=muubZ6TjCKuVwbkPi9ek-QY&ved=0ahUKEwikmIO-rp6LAxWrSjABHYsrKW8Q4dUDCBE&uact=5&oq=optimal+connectivity+dwdm&gs_lp=EgNpbWciGW9wdGltYWwgY29ubmVjdGl2aXR5IGR3ZG1I7ihQpAhY3SFwAXgAkAEAmAFioAG3BaoBAjEwuAEDyAEA-AEBmAIBoAJPwgIHEAAYgAQYE8ICBhAAGBMYHsICCBAAGBMYCBgemAMAiAYBkgcBMaAH7wY&sclient=img), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

Ya en un equipo de transmisión ROADM el significado que tiene contar con la funcionalidad ROADM es que por ejemplo en un enlace punto a punto entre dos nodos ópticos, cuando se le asigna un canal en específico (un color) y si por algún evento tal como un como alto BER en un canal en específico, el equipo puede tomar la decisión de pasarse a otro canal que esté disponible, es decir puede tomar otro frecuencia o color para establecer de nuevo el enlace óptico.

Figura 49.

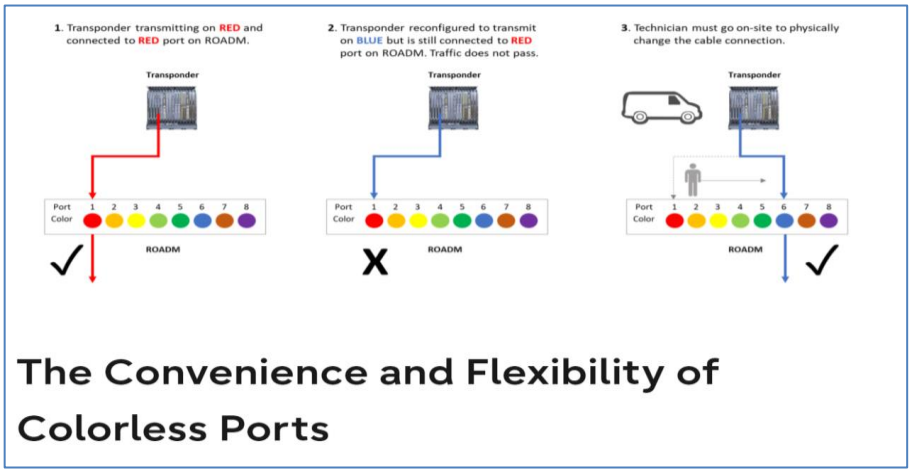
Enlace ROADM punto a punto

Nota. En la figura se muestra la topología de un enlace ROADM punto a punto. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la Figura 50 se muestra la funcionalidad Colorless, esta funcionalidad se refiere a que el equipo ROADM puede tomar cualquier frecuencia ante un evento para restablecer un servicio.

Figura 50.

Colorless Ports



Nota. En la figura se muestra que en la tecnología colorless Ports, en caso de un corte de fibra entre un enlace óptico, el servicio puede seguir operando aun cuando su longitud de onda original este ocupado ya que tomaría otro valor de longitud de onda. Obtenido de Fujitsu Colorless (2024). *Colorless ports* [Puertos incoloros]. (https://networkblog.global.fujitsu.com/2020/07/20/what-is-a-colorless-roadm/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.34. Directionless

Para describir esta funcionalidad se debe utilizar un enlace DWDM punto a punto con equipos ROADM pero que estén conectados al menos por dos enlaces de fibra independiente tal como se muestra en la imagen de abajo.

Figura 51.

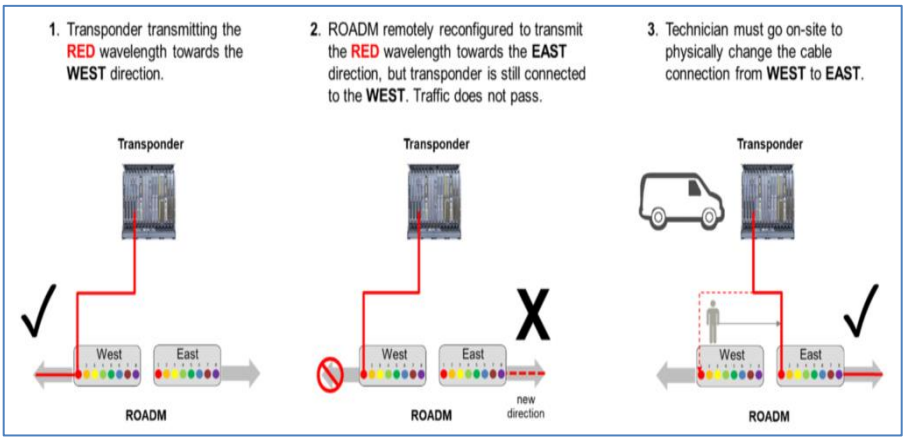
Enlace DWDM punto a punto con doble enlace de fibra

Nota. En la figura se muestra que, en caso de corte de fibra, el servicio puede seguir funcionando independiente el camino que tome para llegar a su destino. Elaboración propia, realizado con Excel.

En caso de que un enlace de diagrama mostrado arriba falle (ejemplo corte de fibra óptica) y que por este enlace viajaba el canal DWDM asignado, el equipo puede tomar ese mismo canal solo que ahora por el enlace que está operando con normalidad, es decir una vez haya una dirección por donde salir, el canal óptico puede restablecer el enlace; en la imagen de abajo se escribe la funcionalidad Colorless.

Figura 52.

Blog Colorless



*Nota. E*n la figura se muestra cómo se reconfigura un servicio tomando la misma longitud de onda hacia una dirección diferente Colorless. Obtenido de Fujitsu blog colorless (2024). *Directionless* [Sin dirección]. (https://networkblog.global.fujitsu.com/2020/07/27/what-is-a-directionless-roadm/), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

3.35. Canal de supervisión OSC

Para saber el estado del enlace físico de fibra se necesita un mecanismo que este midiendo permanentemente la continuidad del enlace; esto se logra inyectando una señal o piloto al mismo enlace de fibra, generalmente esta señal está dentro del formato STM-N el cual es el formato de la antigua arquitectura de transporte SDH fuera del alcance de este documento.

Esta señal de supervisión se inyecta en la etapa de amplificación del enlace óptico; de la misma forma en la estación de recepción se recupera dicha señal en la etapa de preamplificación.

Dicha señal de supervisión es interpretada por el equipo para saber el estado del enlace; dichos estados pueden ser entre otros:

- Enlace degradado
- Enlace cortado

El enlace degradado se refiere a una medición del BER (bit error rate), del mismo el cual responde a una degradación mayor o igual a 1X10-6 en el conteo de errores.

Enlace cortado se refiere a perdida de señal en el extremo distante.

En la Figura 53 se muestra el formato del canal de supervisión, así como su área de operación en un enlace DWDM.

Figura 53.

Canal de supervisión

Optical supervisory channel specification.

Wavelength	1510 nm	Signal format	DS1 ESF
Signal rate	1.544 Mb/s	Line code	CMI

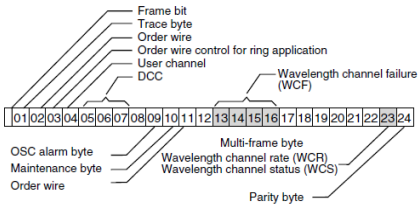


Figure 11
Optical supervisory channel signal format.

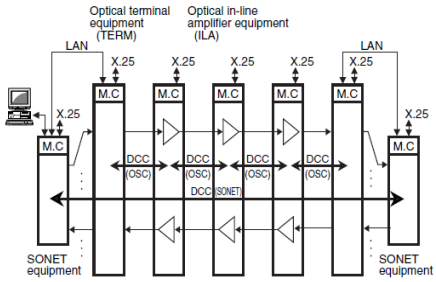


Figure 12
Configuration of OSC control.

Nota. La medición de potencia de la etapa de amplificación tanto en el lado de transmisión como de recepción se realiza por medio del anal de supervisión. Obtenido de Canal de Supervisión Fujitsu (2024). *Canal de supervisión óptico.* (https://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol35-1/paper04.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

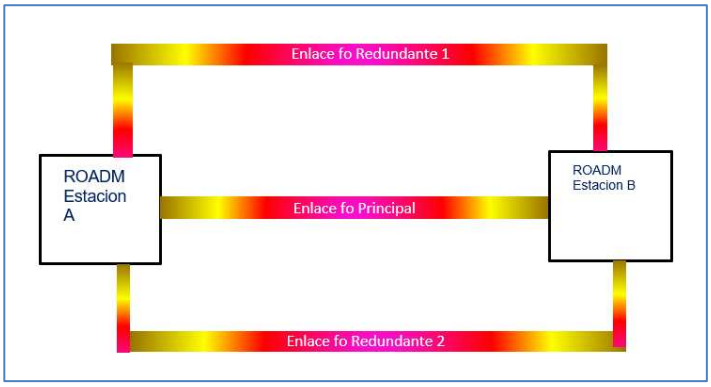
3.36. Ason

Como Automatically switched optical network (Rec. UIT-T G.7715.2/Y.1706.2 (02/2007 i), por sus siglas en inglés es la funcionalidad de Red óptica conmutada automáticamente, esta funcionalidad es el top de una moderna red transporte óptico ya que hace uso de todas y cada una de las funcionalidades descritas en las secciones precedentes para ofrecer una restauración del enlace óptico ante fallas en la red, fallas que pueden ser de equipo o de la red de planta externa (cables de fibra).

Esta funcionalidad se basa en la recomendación ITU G.8080 enmienda 2, así como en conceptos de plano de control óptico (Fujitsu, 2009). Para ello se va a describir un enlace de 2 nodos como la propuesta de este proyecto con al menos tres enlaces independientes de fibra óptica tal como se muestra en la imagen abajo.

Figura 54.

Topología para ASON



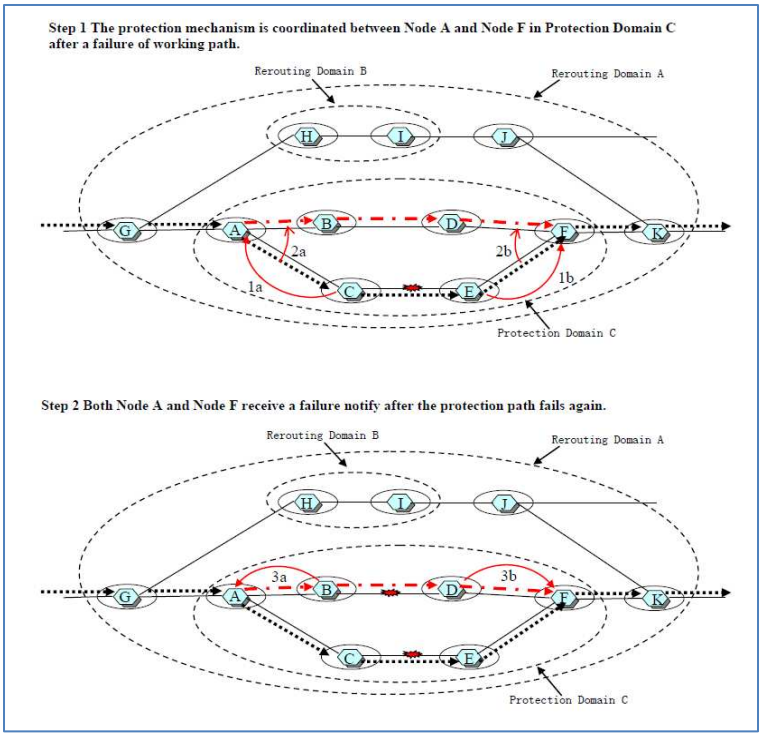
Nota. La figura muestra que entre más mallada sea una red, mejores resultados tendrá en la restauración de servicios por medio del protocolo ASON. Elaboración propia, realizado con Excel.

Si por algún evento de falla de equipo o de fibra el enlace operativo falla, la funcionalidad ASON el cual es un protocolo de comunicación y de red, establecerá según sus métricas la restauración del enlace por otra ruta y para ello supervisara el estado de los otros enlaces, así como la disponibilidad de canales DWDM en los mismo, también contará el número de saltos y la calidad del enlace candidato a elegir para que restaure nuevamente el enlace fallado.

La funcionalidad ASON no es aplicable si una red no es ROADM y a al menos ser CD (colorless and directionless). En las imágenes de abajo se muestra el objetivo de restauración según el protocolo ASON.

Figura 55.

ITU G 8080 Amendment 2



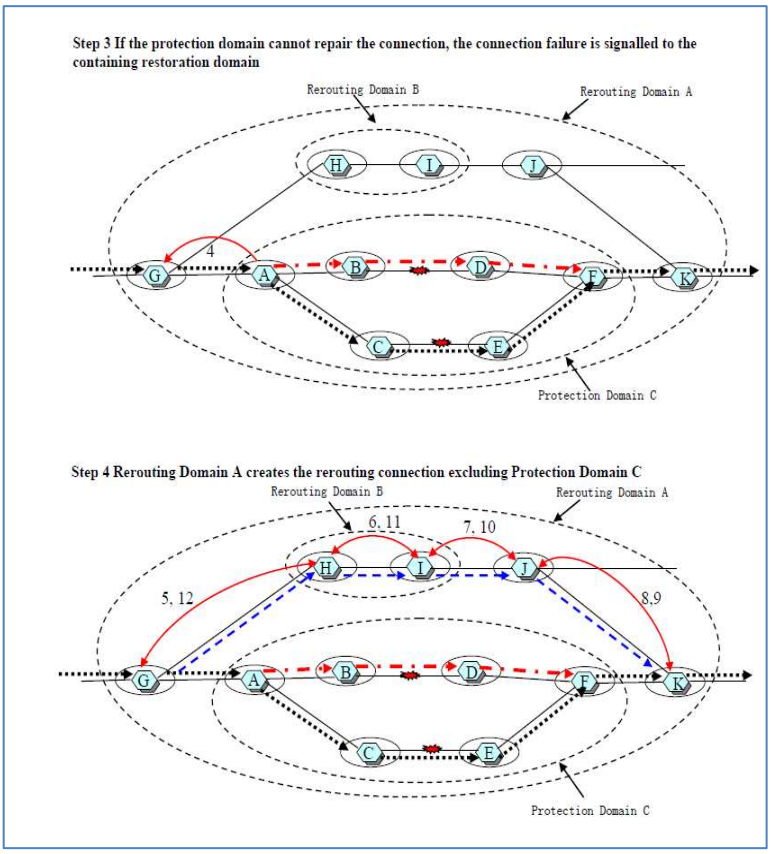
Nota. La figura muestra cómo según las métricas del protocolo ASON un servicio es restablecido ante corte de fibra ITU G amendment 2. Obtenido de Unión Internacional de Telecomunicaciones (2006). *Recomendación UIT-T G.8080 (06/2006) Arquitectura para la red óptica conmutada automáticamente (ASON) Enmienda 2.* (https://www.ietf.org/lib/dt/documents/LIAISON/file1046.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Explicación
    - En el paso 1: al presentarse una falla entre los nodos C y E, los nodos vecinos A y F coordinan para levantar el enlace caido por la ruta entre B y D la cual es el dominio de protección que ASON aprendió como protección inmediata.

- En el paso 2: una nueva falla ocurre entre los nodos B y D (doble corte de fibra), nuevamente los nodos A y F reciben la notificación de una nueva falla.

Figura 56.

Protocolo Ason, ITU G.8080 Amendment 2



Nota. La figura muestra el proceso de restablecer un servicio ante corte de fibra óptica según el protocolo Ason, Recomendacion ITU G.8080 Amendment 2. Obtenido de Unión Internacional de Telecomunicaciones (2006). *Recomendación UIT-T G.8080 (06/2006) Arquitectura para la red óptica conmutada automáticamente (ASON) Enmienda 2.* (https://www.ietf.org/lib/dt/documents/LIAISON/file1046.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Paso 3: dado que existe un doble corte de fibra en el dominico C, este no puede ya restablecer la conexión por lo que empieza a solicitar restauración (dominio C).

- Paso 4: al solicitarse Restauración el dominio A, es decir, incluyendo todos los nodos disponibles de la red busca una ruta para levantar el enlace caído, esto sucede al habilitarse la conexión de los segmentos 5-12, 6-11, 8-9 y 7-10 respectivamente y conectándose a G y K.

En resumen, el protocolo ASON puede configurarse con 1+R (protección más restauración) o bien solo como R (restauración), para el caso de la red entre los nodos de CUM y Campus Central su configuración será como “R” Restauración.

4. PROPUESTA DE DISEÑO

4.1. Diseño de la red

Para el diseño de esta una red DWDM se tomarán en cuenta las siguientes características y requerimientos:

- Margen de cable
- Tipo G.652
- Atenuación por kilómetro de la fibra
- Tipo ROADM
- CD
- Ason
- OTDR
- OTN
- Puerto línea 100G coherente
- Software de diseño
- Gestión de equipos ópticos

4.2. Desarrollo

A continuación, se desarrollarán los temas de márgenes del cable, el tipo G652, entre otros.

4.2.1. Margen del cable

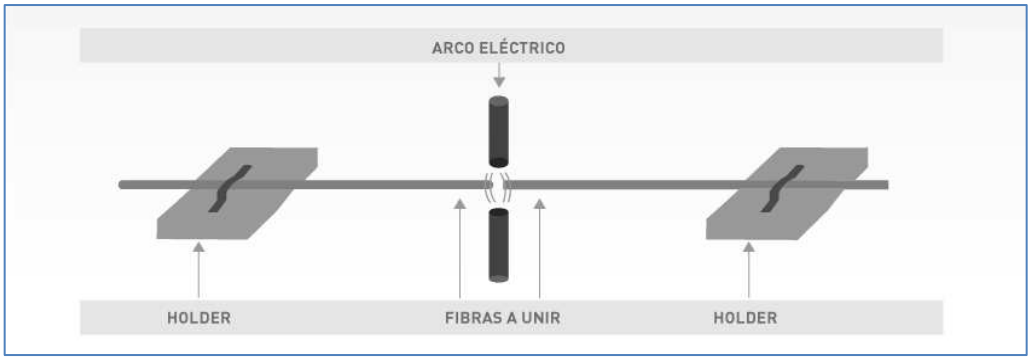
Como se sabe que en el día a día la infraestructura de fibra puede verse afectada por cortes en el cable de fibra, cada vez que se repara dicha fibra hay una inserción de no menos de 0,1 dB por empalme, eso quiere decir, que por ejemplo si en un año hay cinco cortes de fibra, el enlace se habrá atenuado 0,5dB´s por lo que esta atenuación por cortes de fibra debe ser considerada desde el inicio del diseño.

Un valor aceptable para dejar una tolerancia o margen es dejar un valor de 2dB´s, este valor debe ser ingresado en los parámetros de la herramienta de diseño de tal forma que lo tome en cuenta desde el inicio del proyecto y así sean también cálculo la potencia de los amplificadores.

En la Figura 57 se muestra un proceso de empalme de fibra óptica

Figura 57.

Empalme óptico, imagen de Fibermex



Nota. Un empalme óptico debe quedar con un valor de atenuación muy bajo para no afectar el presupuesto óptico, Imagen de Fibermex. Obtenido de Empalme Óptico (2024). *Arco eléctrico.* (https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=86), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.2. Tipo G.652

Como se mencionó en la parte de tipo de fibra, esta debe ser del tipo G.652 ya que ofrece baja atenuación en la banda de operación elegida para este proyecto Banda “C”.

Figura 58.

Rackonline, rollo de fibra

Nota. En la actualidad una bobina de fibra puede alcanzar los 5000 metros para ser instalada, fibra Rackonline, rollo de fibra. Obtenido de Rackonline (2024). *Fibra multimodo.* (https://www.rackonline.es/cable-de-fibra-optica-multimodo-mm?srsltid=AfmBOoosQCK9YHfbB-uA6NP0dK_W6k65umeuZt_1vbwu4_QylcWnO_Bw6Iw), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.3. Atenuación por kilómetro de la fibra

Para este diseño se ha contemplado un valor de atenuación por cada kilómetro de fibra de 0.25 dB/KM, este es un valor teórico para una fibra nueva, el proveedor de equipos podrá proponer un valor más riguroso de acuerdo con su propio criterio.

Otros valores típicos de atenuación que utilizan los fabricantes de equipos es 0,275 dB/KM e incluso algunos utilizan 0,30 dB/KM.

4.2.4. Tipo ROADM

El equipo para utilizar debe cumplir con la funcionalidad de ROADM, como se explicó anteriormente, esta red requiere de restauración ante corte de fibra, las diferentes tecnologías para lograr esta restauración operan si este equipo cumple con ser ROADM.

4.2.5. CD

El equipo ROADM debe tener las funcionalidades de Directionless, esto hace que la tarjeta ROADM tenga esta tecnología directionless, así mismo, el puerto cliente lado Línea bien sea de la tarjeta OTN o de tarjeta Transponder también debe ser sintonizable para poder tomar cualquier color (*Colorless*).

4.2.6. Ason

Para este proyecto de red DWDM entre centro universitario y campus central se requiere que los servicios a ser transportados tengan la funcionalidad ASON, dicha funcionalidad puede ser ASON ÓPTICO o ASON ELECTRICO, para este caso se requiere que sea ASON ÓPTICO y que sea la tarjeta ROADM quien administre las restauraciones por medio de este protocolo.

Se requiere que rodos los servicios tengan configurado su restauración “R” en caso de corte de fibra.

4.2.7. OTDR

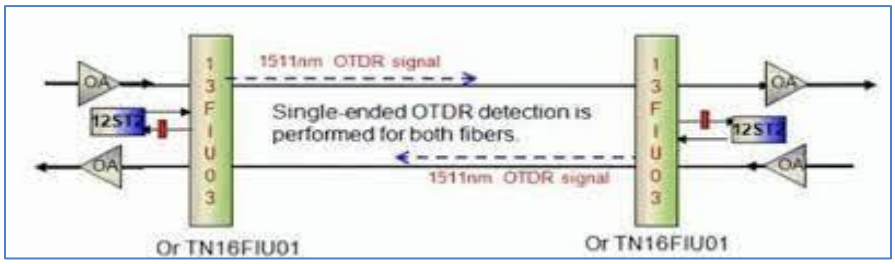
Los enlaces ópticos de este proyecto deben contar con la funcionalidad de OTDR incorporado en el equipo, con ello se tendrá supervisión del estado de la fibra y en caso de corte de fibra enviará un reporte de la distancia y ubicación aproximada del corte.

Se requiere que dicho equipo OTDR se incorpore como parte del equipo DWDM en la sección de amplificación de línea.

En la Figura 59 se muestra el equipo OTDR incorporado para un enlace de fibra DWDM; el módulo 12ST2 quien da la funcionalidad de OTDR para un enlace óptico.

Figura 59.

Otdr Incorporado



Nota. Hoy día los equipos DWDM vienen con funcionalidades incluidas tales como OTDR incorporado. Obtenido de OTDR Incorporado Huawei (2024). *Señal OTDR.* (https://forum.huawei.com/enterprise/en/fiber-doctor-hardware-configuration/thread/667229231182135297-667213856692383744), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.8. OTN

El equipo debe contar con matriz OTN con una capacidad de crosconexion de 1000Gb, bajo el estándar ITU G.709

4.2.9. Puerto líneo 100G coherente

Como se mencionó en la parte de los efectos lineales de la fibra óptica tales como la dispersión cromática CD y polarización de Modo Disperso PMD, al utilizar como equipamiento bien sea transponder, muxponder o puerto de línea OTN con tecnología coherente, se puede minimizar dichos efectos de tal forma que no será necesario utilizar tales como compensadores de dispersión cromática.

Para este proyecto se utilizará tecnología coherente en los emisores de línea DWDM.

A continuación, se muestra como ejemplo la descripción de puerto de líneas coherentes, en este caso el puerto de línea será de 100G.

Tabla 4.

Especificaciones transceivers

Coherent Transceivers

Product line-up

Part Number	Application DWDM 400Gbps	300Gbps	200Gbps	100Gbps		Data Rate [Gbps]	Wavelength [nm]	Distance [km]/ Dispersion [ns/nm]	Max Power Consumption [W]	Tc [°C]	Size (L x W x H) [mm]
CFP2 DCO Transceiver											
FIM38750 (*3)	●	●	●	●	●	400 (*2)	Full C-band Tunable	Metro regional (*1)	(*1)	-5 to 70	107.5 x 41.5 x 12.4
FIM38760 (*3)			●	●	●	200 (*2)			(*1)		
OSFP DCO Transceiver											
FIM38800	●				●	400	Full C-band Tunable	120km	(*1)	0 to 75	100.4 x 22.6 x x13.0
QSFP56-DD DCO Transceiver											
FIM38900 (*3)	●				●	400	Full C-band Tunable	120km	(*1)	0 to 75	93.3 x 18.4 x 8.5
FIM38950 (*3)	●	●	●	●	●	400(*2)		(*2)			

(*1) Available upon request
(*2)Depends on modulation format and FEC
(*3)Under development

Nota. Valores típicos de velocidad de datos, potencias ópticas y temperatura de operación de transceivers. Obtenido de Fujitsu Especificaciones Transceivers (2024). *Especificaciones transceptores*. (https://www.fujitsu.com/jp/group/foc/en/subsidiary-gig5-sample/about/resources/news/notices/2022/20220301-02.html), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.10. Software de diseño

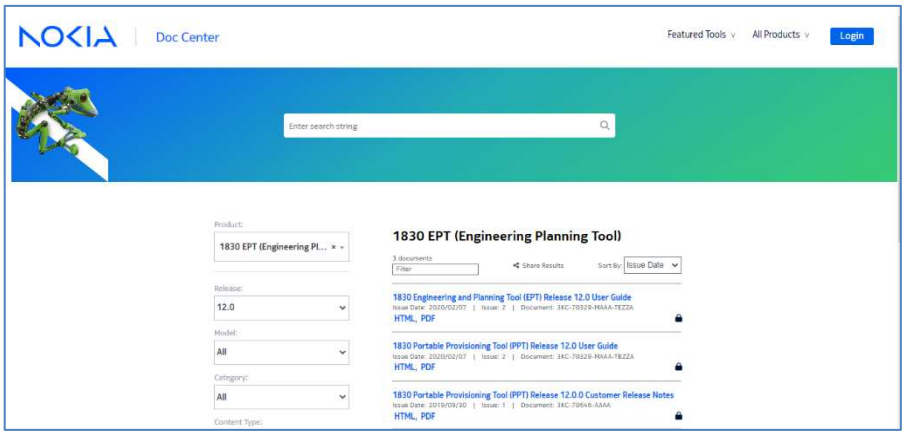
Para el desarrollo de redes de transporte óptico los proveedores de equipos utilizan su propia herramienta de diseño, por ejemplo:

- El proveedor Cisco utiliza CPT
- El proveedor Nokia utiliza EPT
- El Proveedor Huawei Utiliza Netstar

En la Figura 60, se muestra el portal de proveedor equipos y su herramienta de diseño.

Figura 60.

Software diseño



Nota. Imagen de Software diseño comercial para validación de parámetros ópticos y generación de listado de materiales. Imagen Nokia, Internet. Obtenido de Software Nokia (2024). *1830 EPT* (*Herramienta de planificación de ingeniería*). (https://documentation.nokia.com/pybin/doc_ctr.py), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

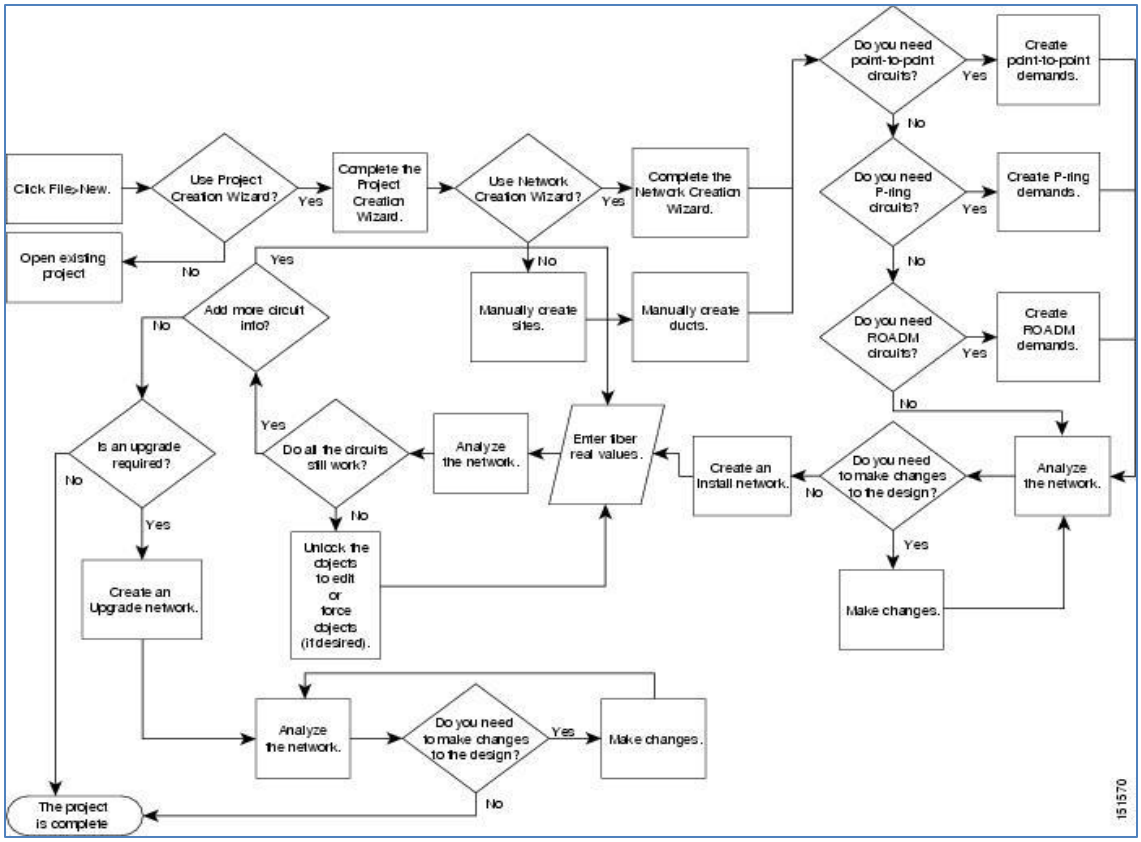
4.2.11. Cálculos propuesta

- Cálculos de presupuesto óptico entre los ODF de empalme (que va hacia la calle), de cada uno de los segmentos involucrados.
- Cálculos de OSNR de las demandas DWDM.
- cálculos de Calidad BER.

Así mismo, se tomará de referencia el flujograma del fabricante Cisco.

Figura 61.

Flujograma



Nota. Etapas para la creación de un proyecto de transmisión con tecnología DWDM. Obtenido de Cisco (2024). *Metroplanner* [Metroplanificador]. (https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/optical/metroplanner/metroplanner_10_6_2/operations/guide/b-454mp-opsguide.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.11.1. Etapas de diseño red óptica

- Creación de proyecto
- Sitios

- Distancias ópticas
- Subnet óptica
- Notas del proyecto
- Tráfico
- Demandas
- Visualización de circuito en la red
- Análisis de la red

4.2.12. Creación de proyecto

A continuación, se realiza la creación del proyecto.

4.2.12.1. Nombre Red DWDM Campus Central USAC-Centro Universitario Metropolitano

- Frente de plataforma:
  - ETSI

- Distancia:
  - KM

- Software Release:
  - (ejemplo)

- Tipo de Equipo:
  - ROADM

- topología:
  - Anillo

- Matriz:
    - OTN

- CFP línea:
    - Coherente

- Sitios y distancias ópticas

Tabla 5.

Datos distancias ópticas

No	Cálculo	Estación A	Estación B	Distancia KM	Tipo	Atenuación por KM	Comentarios
1	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Registro y Estadística Campus Central	Oficinas Administrativas 1 CUM	4.2	G.652	0.25	Ruta diagonal 17
2	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Registro y Estadística Campus Central	Oficinas Administrativas 1 CUM	4.3	G.652	0.25	Ruta Calzada Aguilar Batres
3	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Registro y Estadística Campus Central	Oficinas Administrativas 1 CUM	3.7	G.652	0.25	Ruta 11 Avenida
4	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Registro y Estadística Campus Central	Rectoria Campus Central	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios
5	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Registro y Estadística Campus Central	Recursos educativos Campus Central	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios
6	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Recursos Educativos Campus Central	Rectoria Campus Central	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios
7	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Oficinas Administrativas 1 CUM	Oficinas Administrativas 2 CUM	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios
8	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Oficinas Administrativas 1 CUM	Oficinas Administrativas 3 CUM	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios
9	Presupuesto óptico Fibra (dB´s)	Oficinas Administrativas 3 CUM	Oficinas Administrativas 2 CUM	1	G.652	0.25	Conexión dentro centros universitarios

Nota. Para la elaboración de una topología de una red óptica es básico conoces las distancias ópticas y tipo de fibra. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

- Subnet óptica

    - Subnet No. 1 topología entre Campus Central y CUM 1
    - Subnet No. 2 Edificios Campus Central (Registro y Estadística, rectoría, Recursos Educativos).
    - Subnet No. 3 Edificios CUM (A, B, C).

    Notas del proyecto:

- Versión de diseño 1, incluye repuestos, sitios nuevos
- Trafico: 2X10G entre Nodos Principales (CUM 1 y Registro y Estadística) y 1x10 para entre nodos mismo Centro Universitario.
- Demandas.

    A continuación, se presenta el listado de demandas este proyecto.

Tabla 6.

Listado de demandas

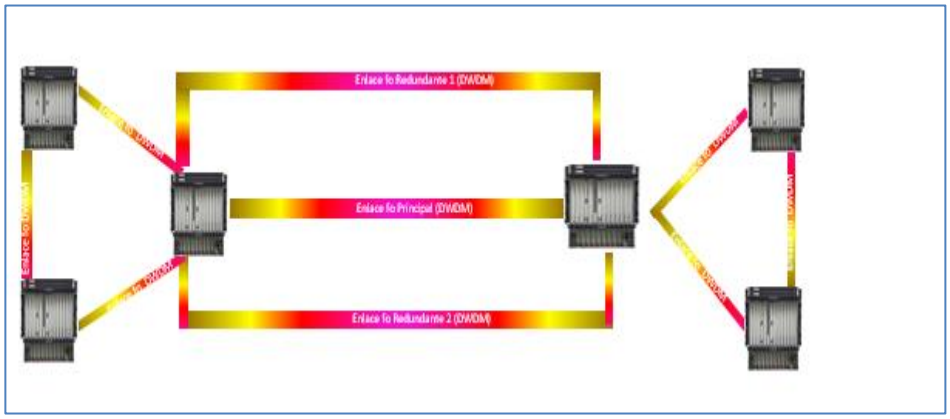
No.	Origen	Destino	Cantidad	Nombre Demanda DWDM
1	Registro y Estadística Campus Central	Oficinas Administrativas 1 CUM	2X10G	Registro y Estadística Campus Central-Oficinas Administrativas 1 CUM
2	Registro y Estadística Campus Central	Rectoría Campus Central	1X10G	Registro y estadística Campus Central-Rectoría Campus Central
3	Registro y estadística Campus Central	Recursos educativos Campus Central	1X10G	Registro y Estadística Campus Central-Recursos Educativos Campus Central
4	Oficinas Administrativas 1 CUM	Oficinas Administrativas 2 CUM	1X10G	Oficinas Administrativas 1 CUM-Oficinas Administrativas 2 CUM
5	Oficinas Administrativas 1 CUM	Oficinas Administrativas 3 CUM	1X10G	Oficinas Administrativas 1 CUM-Oficinas Administrativas 3 CUM

Nota. El listado de demandas es la información que se obtiene de la conectividad y ancho de banda requerido de las distintas redes LAN. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

- Visualización del circuito en la red

Figura 62.

Topología diseño red DWDM

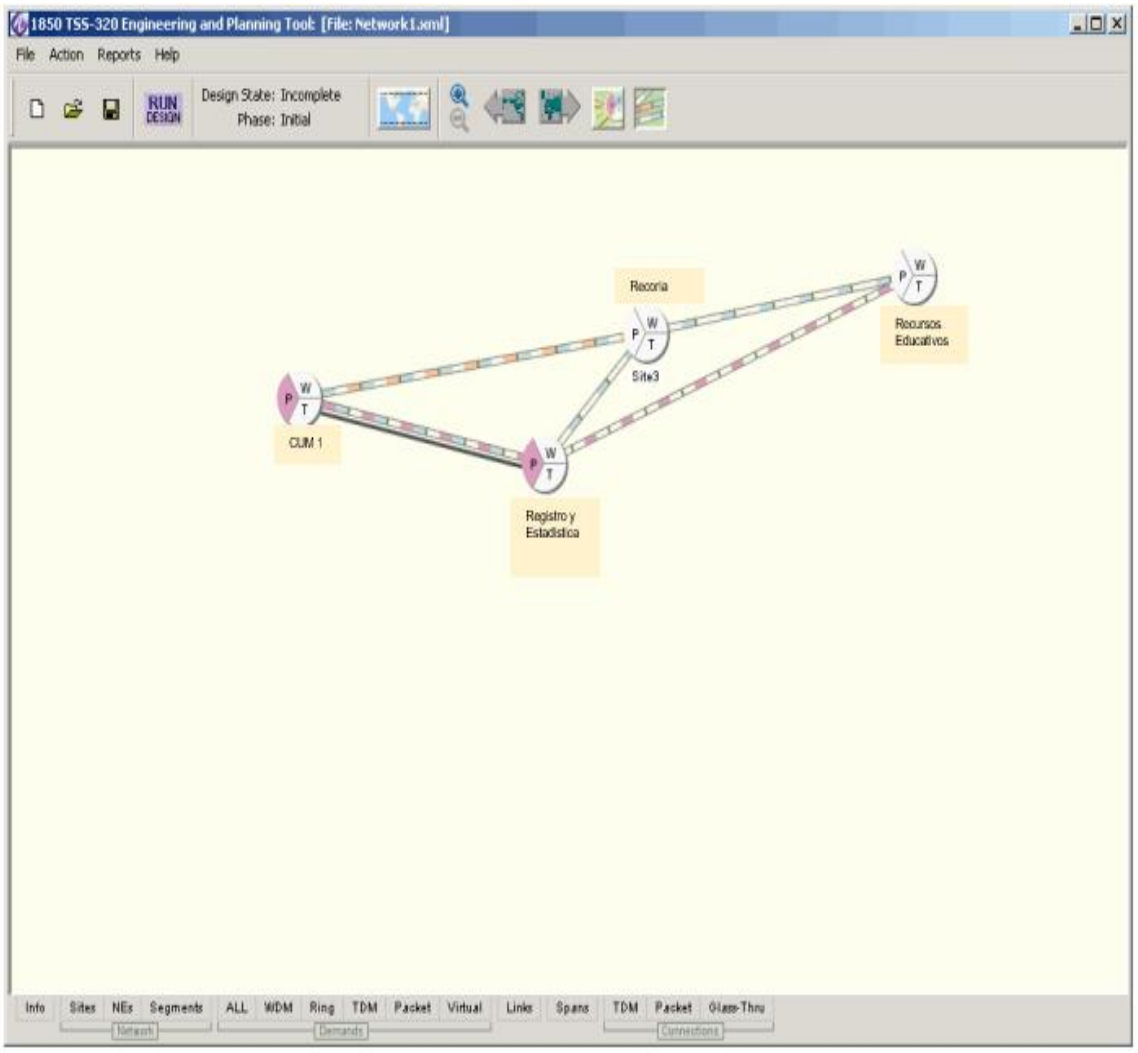


Nota. Al definir el tipo de equipo y asociarlo a la topología creada, se asocia a cada nodo o sitio un equipo ROADM. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

A continuación, se presenta la topología de demandas 10G.

Figura 63.

Topología



Nota. De acuerdo al listado de demandas requerido, se crean los distintos circuitos ópticos de origen a destino. Obtenido de Alcatel (2024). *1850 TSS Planning* [Planificación TSS 1850]. (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Análisis de la red

Una vez obtenido los datos básicos para el diseño, se utiliza la herramienta de diseño, este es un software que calcula las perdidas (dB's), por atenuación, Efectos no lineales de la Fibra (CD y PMD), tipo de tráfico y cantidad de demandas (Servicios), margen de cable, OSNR de segmento, OSNR de demandas, BER, consumo de equipos watts, veredicto final (exitoso o no exitoso).

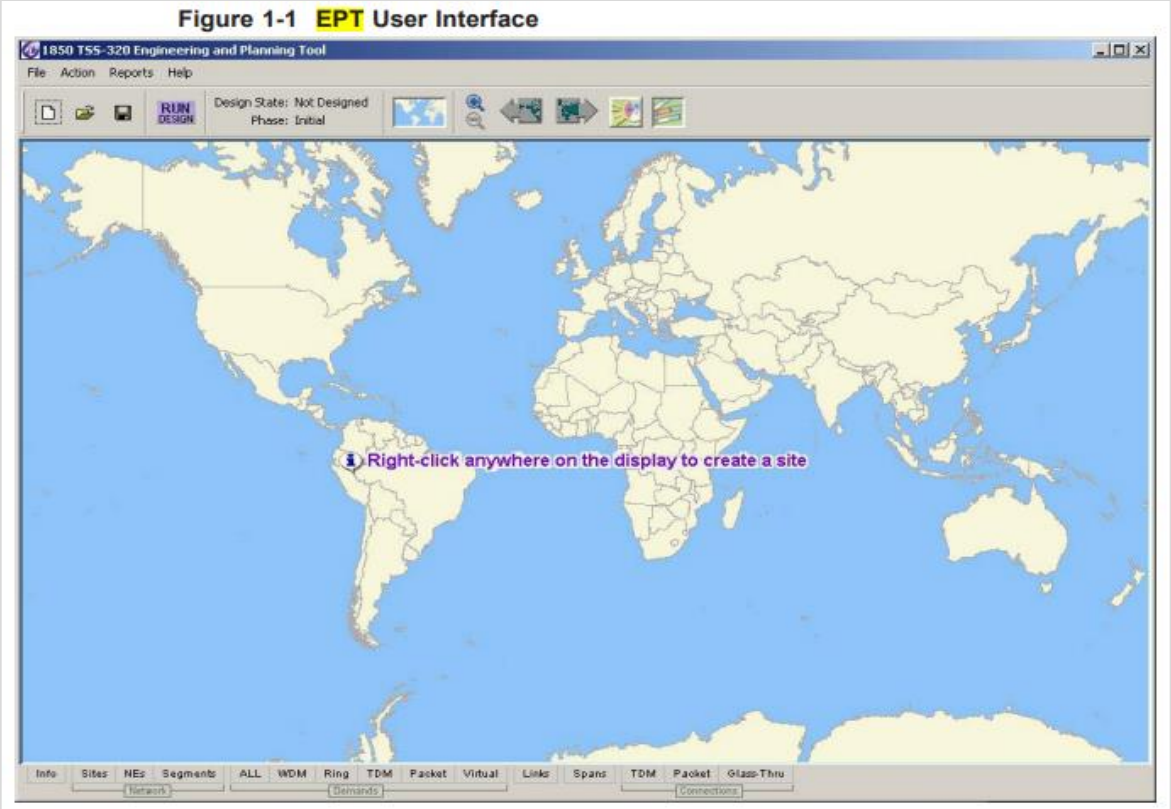
A continuación, se presentan los resultados de este diseño:

- Reporte de fibra

Se tomó de referencia el cálculo de un enlace de 5,41 KM según herramienta ept de Alcatel.

Figura 64.

Herramienta de diseño Alcatel EPT



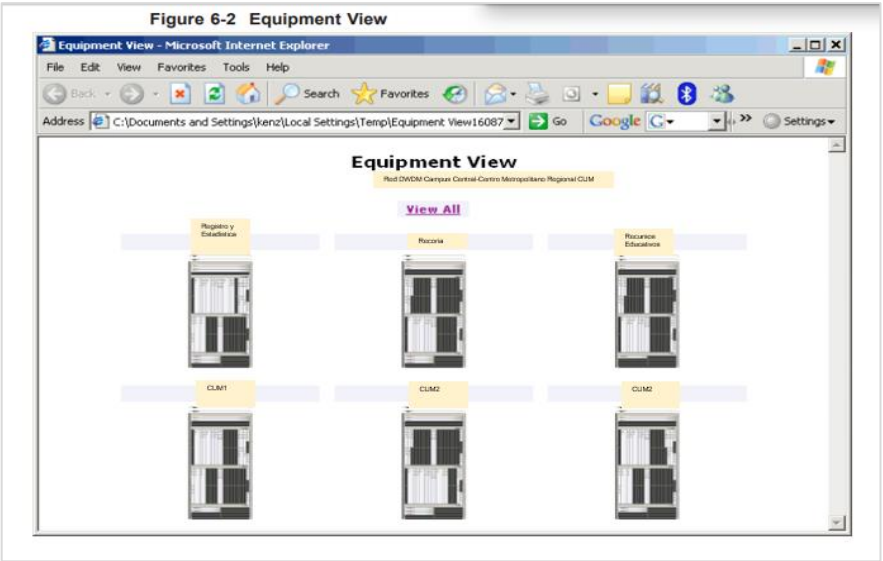
Nota. Con la ayuda de la herramienta de diseño Alcatel EPT se ingresan los datos de distancias ópticas según la topología del proyecto. Obtenido de Alcatel EPT (2024). *Interface EPT.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte de equipamiento

A continuación, se presentan los equipos de este proyecto por sitio:

Figura 65.

Parámetros de red

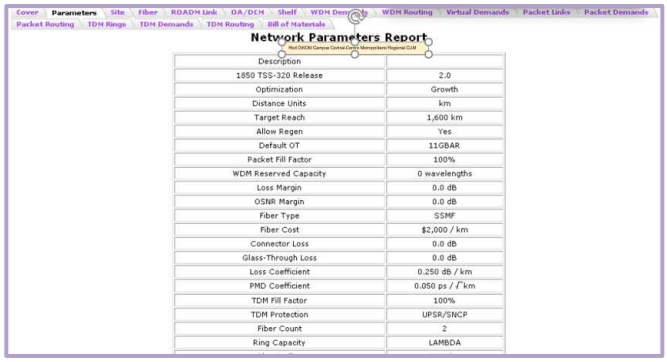


Nota. Para asignar un equipo a los sitios de la topología, es necesario ingresar datos tales como tipo de ADM en cual para este estudio se recomienda el ROADM por sitio. Obtenido de Alcatel (2024). *Vista equipamiento.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte de parámetros de red

Figura 66.

Reporte Parámetros de Red



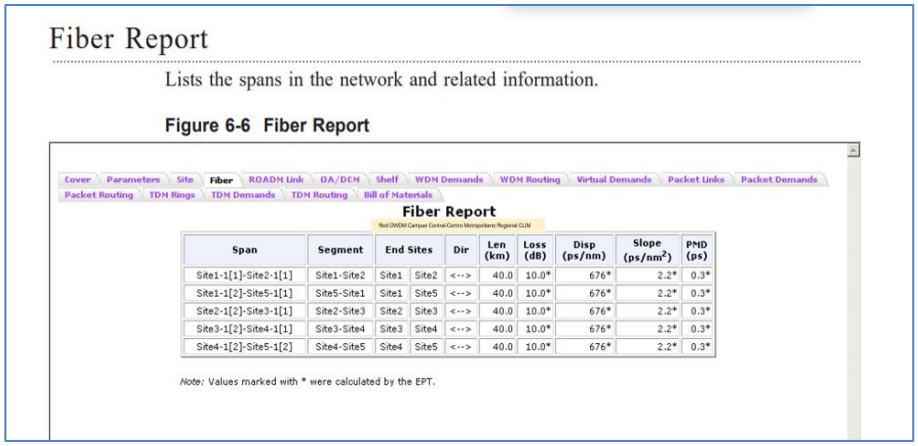
Description	
1850 TSS-320 Release	2.0
Optimization	Growth
Distance Units	km
Target Reach	1,600 km
Allow Regen	Yes
Default OT	11GBAR
Packet Fill Factor	100%
WDM Reserved Capacity	0 wavelengths
Loss Margin	0.0 dB
OSNR Margin	0.0 dB
Fiber Type	SSMF
Fiber Cost	$2,000 / km
Connector Loss	0.0 dB
Glass-Through Loss	0.0 dB
Loss Coefficient	0.250 dB / km
PMD Coefficient	0.050 ps / √km
TDM Fill Factor	100%
TDM Protection	UPSR/SNCP
Fiber Count	2
Ring Capacity	LAMBDA

Nota. Los parámetros de red son datos para definir variables tales como el margen del cable para la operación futura de la red, así como el tipo de fibra y el valor de OSNR de las demandas a crear. Obtenido de Alcatel (2024). *Reporte de parámetros.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte de fibra

Figura 67.

Reporte de fibra

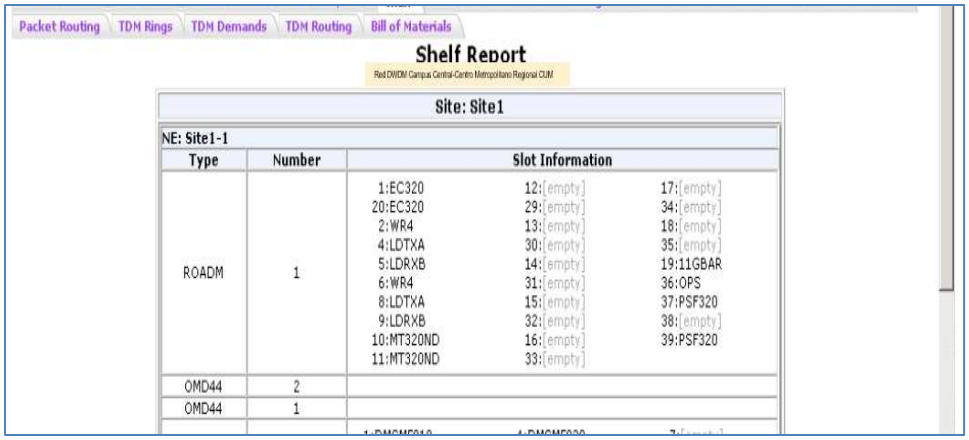


Nota. RLas perdidas por distancia, así como valores teóricos de dispersión cromática y PMD son tabulador como un reporte de fibra que la herramienta de diseño genera. Obtenido de Alcatel (2024). *Reporte de fibra.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte de equipamiento sitio

Figura 68.

Shelf report

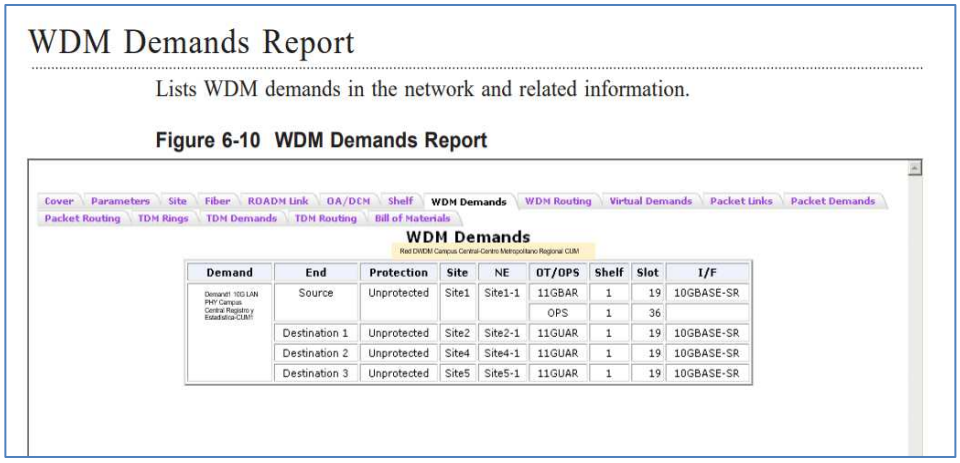


Nota. Cel tipo de amplificador óptico, así como la cantidad de equipamiento entre otros son generados en el reporte de equipo por sitio. Obtenido de Alcatel (2008). *Reporte de estantería.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte de demandas

Figura 69.

Reporte demandas



WDM Demands Report

Lists WDM demands in the network and related information.

Figure 6-10 WDM Demands Report

Cover | Parameters | Site | Fiber | ROADM Link | OA/DCM | Shelf | WDM Demands | WDM Routing | Virtual Demands | Packet Links | Packet Demands | Packet Routing | TDM Rings | TDM Demands | TDM Routing | Bill of Materials

WDM Demands

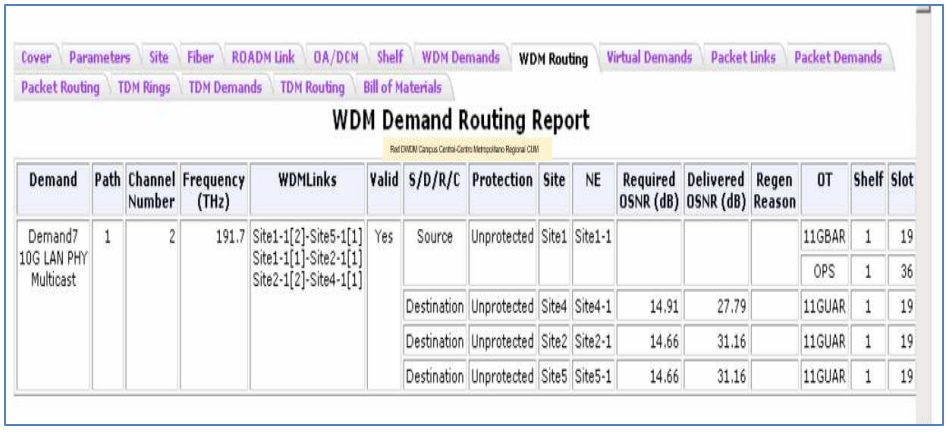
Demand	End	Protection	Site	NE	OT/OPS	Shelf	Slot	I/F
Demand1 10G LAN PHY Campus Central Registro y Estadística-CUM	Source	Unprotected	Site1	Site1-1	11GBAR	1	19	10GBASE-SR
					OPS	1	36	
	Destination 1	Unprotected	Site2	Site2-1	11GUAR	1	19	10GBASE-SR
	Destination 2	Unprotected	Site4	Site4-1	11GUAR	1	19	10GBASE-SR
	Destination 3	Unprotected	Site5	Site5-1	11GUAR	1	19	10GBASE-SR

Nota. La ubicación por slot de equipamiento para la creación de los servicios o demandas son generadas en el reporte WDM de demandas. Obtenido de Alcatel (2008). *Reporte de demandas.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Reporte OSNR demandas

Figura 70.

Reporte rutas demandas



Cover | Parameters | Site | Fiber | ROADM Link | OA/DCM | Shelf | WDM Demands | WDM Routing | Virtual Demands | Packet Links | Packet Demands | Packet Routing | TDM Rings | TDM Demands | TDM Routing | Bill of Materials

WDM Demand Routing Report

Demand	Path	Channel Number	Frequency (THz)	WDMLinks	Valid	S/D/R/C	Protection	Site	NE	Required OSNR (dB)	Delivered OSNR (dB)	Regen Reason	OT	Shelf	Slot
Demand7 10G LAN PHY Multicast	1	2	191.7	Site1-1[2]-Site5-1[1] Site1-1[1]-Site2-1[1] Site2-1[2]-Site4-1[1]	Yes	Source	Unprotected	Site1	Site1-1				11GBAR	1	19
													OPS	1	36
						Destination	Unprotected	Site4	Site4-1	14.91	27.79		11GUAR	1	19
						Destination	Unprotected	Site2	Site2-1	14.66	31.16		11GUAR	1	19
						Destination	Unprotected	Site5	Site5-1	14.66	31.16		11GUAR	1	19

Nota. Para validar si la relación de señal a ruido esta entre los parámetros de operación, se revisa el reporte WDM de ruteo. Obtenido de Alcatel (2008). *Reporte de rutas.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

- Diseño exitoso

Cuando todos los parámetros de diseño están dentro de los parámetros de operación de los equipos del fabricante, la herramienta de diseño da el veredicto de existo o no exitoso.

Como se pudo observar los diferentes reportes, los valores utilizados en el mismo sobrepasan a por ejemplo las distancias reales de los enlaces entre en Campus Central y el Centro Universitario Metropolitano en casi cuatro veces el valor.

Los valores de la herramienta de diseño EPT tomada como referencia utilizaron distancia de 40 KM mientras que la distancia real en este proyecto es de 4.3KM por lo que el diseño de esta propuesta es también exitoso con la salvedad que los amplificadores de potencia tienen que ser de un modelo de menor valor de salida dB´s, los cuales también los ofrecen los fabricantes de equipo.

Figura 71.

Diseño exitoso

Nota. La validación final si el diseño esta correcto o no de acuerdo a los parámetros y valores ingresados se obtiene del reporte Diseño exitoso. Obtenido de Alcatel (2024). *Estado del diseño.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.2.13. Gestión de equipos

Para la administración de esta red óptica se propone un gestor de nueva generación basado en el estándar SDN por sus siglas en inglés (Software define Network), el cual tiene entre otros atributos la virtualización de la administración de la red.

El equipo debe contar con los atributos siguientes:

- Inventario de Equipos
- Acceso vía WEB
- Licencia de acceso de hasta 20 usuarios al mismo tiempo
- Control de acceso al gestor
- Interfaz Norte
- configuración de nuevos servicios en forma gráfica
- Reporte de alarmas
- Programación de mediciones de calidad
- Reporte de fallas corte fibra.
- Reporte de fallas equipos
- configuración LLDP interfaz cliente

Figura 72.

Gestor Huawei iNCE

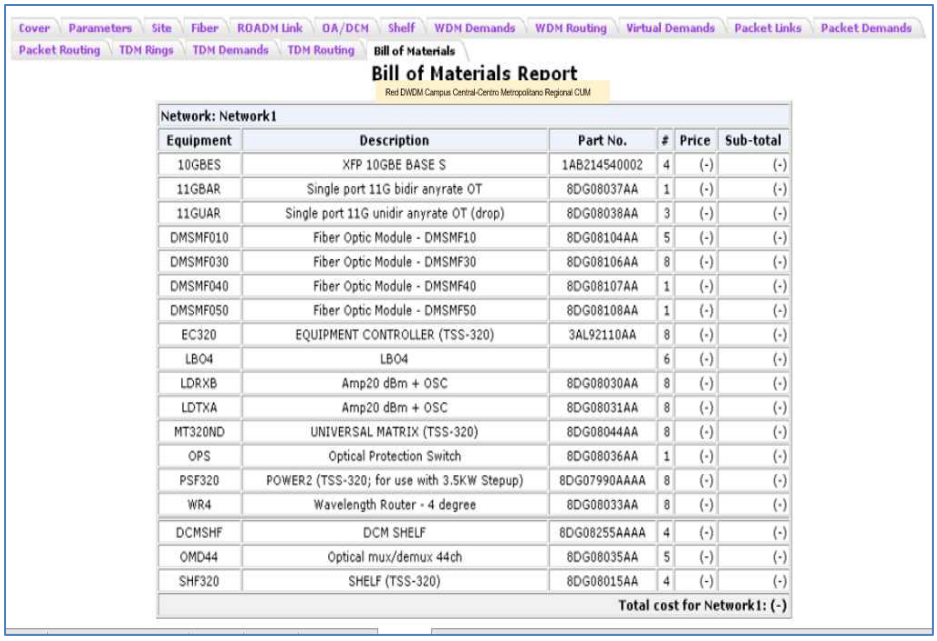
Nota. La administración y operación de la nueva red se realiza según el equipo de Gestión de red como ejemplo el modelo Huawei iNCE. Obtenido de Gestor Huawei Ince (2024). *Análisis de red.* (https://e.huawei.com/es/products/network-analysis), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.3. Lista de material por sitio

A continuación, se muestra la lista de materiales para un proyecto DWDM, en este caso aparecen allí DCM (dispersion chromatic module), por sus siglas en inglés, pero para este caso no aplican ya que sería una red con tecnología coherente.

Figura 73.

Listado de materiales



Nota. La lista de materiales a adquirir para implementar un proyecto se obtiene de este reporte. Aquí se indica el número de parte del equipo, así como la cantidad. Obtenido de Alcatel (2024). *Lista de materiales.* (https://documentation.nokia.com/cgi-bin/dbaccessfilename.cgi/8DG08136MAAA_V1_Transport%20Service%20Switch%20320%20(TSS-320)%20Release%202.0%20DWDM%20Optical%20Engineering%20Rules.pdf), consultado el 28 de marzo de 2024. De dominio público.

4.4. Costos proyecto

En la Tabla 7 se muestran los costos referenciales del proyecto:

Tabla 7.

Tabla de listado de materiales y costos unitarios

No.	Número de parte	Descripción corta	Cantidad	Precio Unitario (US$)	TOTAL
1	Fabricante	Hardware Service Transport Port 10G	8	8910	71,280.00
4	Fabricante	Hardware CD (32 Channel Block)	12	15516	186,192.00
6	Fabricante	Hardware ROADM	6	13017.6	78,105.60
7	Fabricante	hardware Amplifier (0 < X < 21dB)	36	3364.2	121,111.20
9	Fabricante	Hardware OTN (Cross Connection) -OTN XC Capacity - Hardware- 800 Gbps – 1.6 Tbps	6	8164.8	48,988.80
10	Fabricante	Servicios Service Transport Port 10G	8	1544.09	12,352.72
14	Fabricante	servicios CD (32 Channel Block)	12	1897.72	22,772.64
16	Fabricante	Servicios ROADM	6	3457.7	20,746.20
17	Fabricante	Servicios Amplifier (0 < X < 21dB)	36	1468.68	52,872.48
19	Fabricante	Adecuaciones del sito	6	1211.065	7,266.39
20	Fabricante	Infraestructura fibra			163,800.00
21	Fabricante	Infraestructura Sitio			62,168.80
22	Fabricante	Repuestos			48,972.60
23	Fabricante	Gestión y administración			124,337.61
24	Fabricante	Soporte Técnico post implementación	12	7000	84,000.00
				sub total US$	1,104,967.04
				factor DDP	1.075
				HW DDP	50,92409
				Total US$	**1,155.91.12**

Nota. Se muestra el listado de materiales, adecuación de sitio, repuestos y soporte por un año del proyecto completo; precio en dólares americanos y factor Incoterm Guatemala DDP. Elaboración propia, realizado con Word.

Descripción:

- Factor DDP
- Costo por kilómetro de fibra US$ 9,000.00
- Repuestos: 1 de cada elemento Hardware
- Soporte técnico post implementación 1 año: US$ 7,000.00 por mes
- 6 sitos forman parte del proyecto
- Matriz de tráfico red LAN de acuerdo a tabla de demandas
- Infraestructura: Contempla construcción de dos (02) casetas con losa de concreto, así mismo contempla Moto generador y banco de baterías (cálculos fuera del alcance este proyecto).

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con lo investigado las alternativas de construcción de infraestructura de fibra óptica puede ser de construcción propia o renta de fibra como se explica en apartado 3.12 “Infraestructura de fibra”

2. La tendencia en construcción de redes de transporte óptico sugiere que las mismas sean autónomas con capacidad de supervivencia ante cortes o degradación en la fibra.

3. Se debe medir el ancho de banda Mbps de las interfaces cliente de las redes LAN al momento de diseñar la red óptica, esto debe hacerse según se plantea en el apartado 3.23 Interfaz Óptica.

4. Los costos presupuestales para la implementación de este proyecto contemplan la compra de equipamiento, software y la implementación del mismo tal como se muestra en el apartado 4.4.

5. El impacto de perder información entre centros administrativos y facultades entre el campus central y el centro Universitario metropolitano justifican los costos del proyecto para implementar una nueva red de transporte óptico de gran ancho de banda, ya que la nueva red soportaría hasta doble corte de fibra al mismo tiempo y que en un futuro podría implementarse un centro de datos con capacidad de redundancia geográfica.

6. Se necesita contar con un departamento de Telecomunicaciones encargado del soporte a redes de gran tamaño y que ofrezca sus servicios las 24 horas del día, todo esto auxiliado con un moderno Gestor de equipos de transmisión.

7. Los costos presupuestales de este proyecto podrían bajar ya que se han tomado costos referenciales sin negociación de precios finales tanto de Hardware como de servicios de implementación.

8. La construcción de una infraestructura propia de fibra óptica depende en gran parte de los permisos municipales, aun así, si se ve afectado el proyecto por estos inconvenientes, ya existen operadores que rentan infraestructura de fibra y así no atrasar los proyectos.

9. El gran problema del corte de las comunicaciones debido al corte de fibra se viene a minimizar con redes que cuentan con mecanismo de restauración tales como el protocolo ASON.

RECOMENDACIONES

1. Medir los KPI de ancho de banda de todas las redes LAN de los centros universitarios del país con el objetivo de conocer el ancho total que se necesita en los servidores del Campus Central y a futuro dimensionar el crecimiento de la red.

2. Calcular el ancho de banda de las redes LAN locales, es necesario aplicar un método estadístico de tal forma que un pico de tráfico pueda diferenciarse del tráfico promedio a manera de tomar un criterio de cuál es el ancho de banda recomendado para acceso a servidores.

3. Hacer el proyecto tomando en consideración los tiempos de fabricación equipos, transporte de equipos desde lugar origen y trámites aduanales según Incoterm que beneficie la implementación del mismo.

4. Generar un documento de RFI por sus siglas en inglés (*Request for Information*), a manera que los proveedores interesados envíen que productos y sus funcionalidades ofrecen para la construcción de una nueva red DWDM en configuración ROADM y restauración ASON.

5. Proponer el proyecto como RFP (*Request for proposal*), para que se evalúen distintas opciones de constructores de equipos DWDM.

REFERENCIAS

Fujitsu. (2009). *The Emerging Optical Control Plane* [El plano de control óptico emergente]. https://www.fujitsu.com/ca/en/Images/OptControlPlane.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2018). *Architecture for the automatically switched optical network* (ASON). *Recommendation ITU-T G.8080 Amendment 2/Y.1304.* [Arquitectura para la conmutación automática de una red óptica (ASON). Recomendación ITU-T G.8080 Enmienda 2/Y.1304]. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.698.2-201811-I

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016*). Características de las fibras y cables ópticos monomodo ITU-T G.652.* https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=13076&lang=es

Universidad de San Carlos de Guatemala. (2024). *Misión y vision*. USAC. https://www.usac.edu.gt/misionvision.php

Zhang, X. (2004). V*ariable optical attenuator (VOA) for DWDM applications* [Atenuador óptico variable (VOA) para aplicaciones DWDM]. https://www.researchgate.net/publication/260055392_MEMS_variable_optical_attenuator_VOA_for_DWDM_applications)