

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MULTIPLEXOR Y
DEMÚLTIPLEXOR DWDM PARA EL LABORATORIO DE
COMUNICACIONES ÓPTICAS DE LA U.P.S**

AUTORES:

**JOSE ENRIQUE VILLAFUERTE GONZALEZ
OLIVER LEONARDO CASCANTE YEPEZ**

TUTOR:

ING. PABLO ECHEVERRÍA MSc.

GUAYAQUIL-ECUADOR

2021

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación

Nosotros, JOSÉ ENRIQUE VILLAFUERTE GONZÁLEZ y OLIVER LEONARDO CASCANTE YÉPEZ, estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana certificamos que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de los autores y es propiedad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, enero del 2021


(f) _____
JOSÉ ENRIQUE VILLAFUERTE GONZÁLEZ
C.I. 0930710306


(f) _____
OLIVER LEONARDO CASCANTE YÉPEZ
C.I. 0924839095

Certificado de cesión de derechos de autores

Nosotros, JOSÉ ENRIQUE VILLAFUERTE GONZÁLEZ con documento de identificación N° 0930710306 y OLIVER LEONARDO CASCANTE YÉPEZ con documento de identificación N° 0924839095, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales en calidad de autores del proyecto de titulación titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MULTIPLEXOR Y DEMULTIPLEXOR DWDM PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS DE LA U.P.S", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de ingeniero electrónico con énfasis en telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, enero del 2021

(f)

JOSÉ ENRIQUE VILLAFUERTE GONZÁLEZ
C.I. 0930710306

(f)

OLIVER LEONARDO CASCANTE YÉPEZ
C.I. 0924839095

Certificado de dirección del trabajo de titulación

Por medio de la presente doy a conocer que el proyecto de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MULTIPLEXOR Y DEMULTIPLEXOR DWDM PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS DE LA U.P.S” presentado por JOSÉ ENRIQUE VILLAFUERTE GONZÁLEZ y OLIVER LEONARDO CASCANTE YÉPEZ para optar por el título de ingeniero electrónico con énfasis telecomunicaciones, se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, enero del 2021



(f) _____
Ing. Pablo Echeverría MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO DE TESIS

Dedicatoria

Dedico este logro a mis padres, que sin ellos no podría haberlo conseguido, ya que ellos estuvieron conmigo en las circunstancias más fáciles y las más difíciles de toda mi vida estudiantil. A mis abuelos que me inspiraron a obtener este logro y cuyas palabras me motivaron a culminar esta hazaña. A mis compañeros y amigos los cuales siempre fueron parte de esta carrera a la meta y el valor de apoyarnos en toda esta trayectoria universitaria. Y en especial a mi novia que siempre estuvo alentándome a no tirar la toalla y seguir de la mano en este gran sueño de ser profesionales. A todos ellos les doy mis más sinceros agradecimientos y les dedico este logro, que no será el último.

Oliver Leonardo Cascante Yépez

Dedico y agradezco este trabajo y toda mi carrera universitaria a Dios que me dio la sabiduría, paciencia y dedicación para realizar mi carrera universitaria. A mis padres que siempre me apoyaron moral y económicamente durante todos mis estudios. A mi esposa que me siempre está conmigo en cualquier dificultad, a mi hijo para que me tome como un ejemplo a seguir y quiera superarse siempre. A toda mi familia que con cualquier granito de arena siempre estuvieron predispuestos a apoyarme. Y una dedicación especial para mis familiares que están en el exterior y quieren verme siempre progresar y sobre todo a una persona que físicamente ya no está en este mundo, pero siempre será recordada.

José Enrique Villafuerte González

Resumen

En la actualidad las tecnologías en telecomunicaciones se han desarrollado y evolucionado a gran escala, específicamente en sectores como el uso del internet de banda ancha, y servicios multimedia, esto ha conllevado a un alto uso de tráfico de datos, voz y video ya que a medida que los requerimientos de usuarios crecen, las tecnologías cambian y evolucionan.

Los proveedores de servicios de internet están en la búsqueda de soluciones y tecnologías que satisfaga la necesidad de mayor ancho de banda para los clientes o abonados finales. Esto ha conllevado a que los proveedores de internet realicen despliegues en sus redes específicamente en transporte de red de fibra óptica que permita llegar a sus clientes para brindar servicios de banda ancha.

El principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio está relacionado al aumento de capacidad en sus redes de transporte. La mejor alternativa que tienen los operadores consiste en despliegues de tecnologías DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes mediante equipos multiplexadores que utilizan este método de multiplexación óptica.

La Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es una tecnología que se utiliza en la transmisión de varias longitudes de onda sobre una misma fibra sin interferencia mutua; cada longitud de onda representa un canal óptico dentro de la fibra. Un sistema WDM posee métodos ópticos que permiten combinar dichos canales dentro la fibra y extraerlos en puntos apropiados a lo largo de la red.

En este trabajo de investigación se plantea un diseño de módulo didáctico que consiste en un módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil con la finalidad de que los futuros ingenieros en telecomunicaciones puedan realizar prácticas y pongan sus conocimientos teóricos adquiridos en aulas para que posteriormente sean aplicados en el campo laboral.

Abstract

Today, telecommunications technologies have been developed and evolved on a large scale, specifically in sectors such as broadband internet use, and multimedia services, this has led to high use of data, voice and video traffic as user requirements grow, technologies change and evolve.

Internet service providers are on the search for solutions and technologies that meet the need for higher bandwidth for customers or end subscribers. This has led Internet providers to deploy to their networks specifically in fiber optic network transport to reach their customers to provide broadband services.

The main problem facing service providers is related to increased capacity in their transport networks. The best alternative for operators is deployments of DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) technologies, which allows to economically increase the transport capacity of existing networks using multiplexer equipment using this optical multiplexing method.

Wavelength Division Multiplexing (WDM) is a technology used in the transmission of multiple wavelengths over the same fiber without mutual interference; each wavelength represents an optical channel within the fiber. A WDM system has optical methods that allow you to combine these channels within the fiber and extract them at appropriate points along the network.

This research work proposes a didactic module design consisting of a DWDM multiplexer and demultiplexer module for the telecommunications laboratory of the Salesian Polytechnic University headquarters Guayaquil so that future telecommunications engineers can carry out internships and put their theoretical knowledge acquired in classrooms so that they are subsequently applied in the field of work.

Índice general

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación.....	II
Certificado de cesión de derechos de autores	III
Certificado de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatoria	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Índice general	VIII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XII
Introducción	XIII
1. El problema.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Importancia y alcance.....	1
1.3. Delimitación.....	2
1.3.1. Delimitación temporal	2
1.3.2. Delimitación espacial.....	2
1.3.3. Delimitación social.....	2
1.4. Impacto.....	2
1.5. Justificación.....	2
1.6. Objetivos	3
1.6.1. Objetivo general	3
1.6.2. Objetivo específico	3
2. Marco teórico	4
2.1. Descripción del sistema de comunicaciones ópticas	4
2.2. Ventajas del sistema de comunicación óptica.....	5
2.3. Conceptos básicos de los dispositivos utilizados en un sistema de comunicación óptico	5
2.3.1. El Transmisor óptico.....	5
2.3.2. Receptor óptico	5
2.3.3. Fibra óptica.....	5
2.4. Componentes de una red DWDM.....	7
2.4.1. Emisores de detectores de luz.....	7
2.4.2. Fuentes	7
2.4.3. Detectores	7
2.5. Red de DWDM	8
2.6. Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa	8
2.7. Anillos de DWDM	9
2.8. Capas de una red de transporte óptica.....	10
2.8.1. Capa de canal óptico (OCh)	10
2.8.2. Capa de sección de multiplex (OMS).....	10
2.8.3. Capa de Transmisión Óptica (OTS).....	11
2.9. Amplificador Óptico (AO)	11
2.10. OptiSystem	11
2.10.1. Beneficios específicos.....	12
2.10.2. Aplicaciones.....	12
2.10.3. Biblioteca de componentes	13
2.10.4. Integración con herramientas de software Optiwave	14
2.10.5. Representación de señales mixtas.....	14
2.10.6. Algoritmos de calidad y rendimiento.....	14

2.10.7.	Herramientas de visualización avanzadas	14
2.10.8.	Monitores de datos	14
2.10.9.	Simulación jerárquica con subsistemas.....	14
2.10.10.	Potente lenguaje de escritura.....	14
2.10.11.	Flujo de datos de cálculo de última generación.....	15
2.10.12.	Reportar pagina	15
2.10.13.	Lista de materiales	15
2.10.14.	Varios diseños	15
2.11.	Características principales de Optisystem.....	15
2.11.1.	Biblioteca de transmisores	15
2.11.2.	Biblioteca de receptores.....	16
2.11.3.	Tipos de fibras ópticas	17
2.11.4.	Amplificadores	18
2.11.5.	Herramientas de diseño de redes	18
2.11.6.	Filtros	18
2.11.7.	Pasivos	19
2.11.8.	Procesamiento de la señal.....	20
2.11.9.	Herramientas de diseño de ópticas espaciales y de espacio libre	20
2.11.10.	Herramientas de visualización	20
2.11.11.	DWDM en OptiSystem	21
2.11.12.	Beneficios DWDM OptiSystem.....	21
2.11.13.	Descripción de la simulación.....	22
2.12.	Solución híbrida CWDM/DWDM.....	25
2.12.1.	DWDM híbrido sobre red CWDM	25
2.12.2.	Descripción de medidas del equipo DWDM	27
2.13.	Analizador de espectros ópticos Yokogawa AQ6370D.....	27
2.13.1.	Analizador de espectro óptico basado en rejilla de difracción	29
2.13.2.	OSA basada en Interferómetro Fabry-Perot:.....	30
2.13.3.	OSA basada en 2.....	30
2.14.	AQ6370D (600 to 1700 nm).....	31
2.14.1.	Fuente de calibración incorporada	33
2.14.2.	Desempeño del OSA AQ6370D	33
2.14.3.	Sistemas de pruebas automatizadas	34
2.14.4.	El AQ6370 Viewer.....	34
2.14.5.	Características que facilitan su uso.....	35
2.14.6.	Panel frontal AQ6370D	37
2.14.7.	Panel posterior AQ6370D	38
2.15.	C-Band Booster Optical Amplifier (BOA1004P).....	38
2.15.1.	Especificaciones BOA1004P.....	39
2.15.2.	Curvas de Desempeño BOA1004P	40
2.16.	Compact Laser Diode Controller CLD1015	40
2.16.1.	Información general	40
2.16.2.	Seguridad - Atención.....	41
2.16.3.	Elementos de Operación.....	42
2.16.4.	Características de seguridad y protección.....	43
2.16.5.	Características de seguridad y protección.....	44
2.16.6.	Monitoreo de falla de línea	44
2.16.7.	Instrucciones de operación	45
2.16.8.	Memorias de Set Point:.....	48
2.16.9.	Mensajes de Estado del Panel Principal	49
2.16.10.	Laser Protection:.....	50

2.16.11.	Temperature protection:.....	50
2.16.12.	Interlock	51
2.16.13.	Entrada del Photodiode PD.....	52
2.16.14.	Thermo Electric Cooler - TEC Driver Setup.....	53
2.16.15.	Calibración del Thermistor	56
2.16.16.	System Settings	57
3.	Propuesta	60
3.1.	Título de la propuesta.....	60
3.2.	Descripción de la propuesta	60
3.3.	Equipos que se utilizarán en el banco de pruebas DWDM	61
3.3.1.	Solución híbrida CWDM / DWDM, 8 canales C53-C60, con monitor, expansión y puerto de 1310nm, LC / UPC, DWDM Mux Demux de fibra dual.....	61
3.3.2.	Especificaciones del producto	62
3.3.3.	Conectividad de red DWDM	63
3.3.4.	ThorLabs Amplificador óptico	63
3.3.5.	Compact Laser Diode Controller CLD1015.....	64
3.3.6.	Analizador de espectros ópticos AQ6370D.....	65
3.3.7.	Características principales del analizador de espectros ópticos AQ6370D	66
3.3.7.1.	Rendimiento óptico de clase mundial.....	66
3.3.7.2.	Modelos estándar y de alto rendimiento.....	66
3.3.7.3.	Precisión de alta longitud de onda: $\pm 0.01\text{nm}$	66
3.3.7.4.	Rango dinámico ultra alto: 78dB típ.	66
3.3.7.5.	Borde de filtro más afilado.....	67
3.3.7.6.	Relación de supresión de luz parásita: 80 dB típ.....	68
3.3.7.7.	Amplio rango de nivel: + 20DBm a -90dBm.....	69
3.3.7.8.	Entrada de espacio libre	70
3.3.7.9.	Excelente eficiencia	70
3.3.7.10.	Interfaz remota rápida (Ethernet, GP-IB)	71
3.3.7.11.	Operación fácil	71
3.3.7.12.	Manejo sencillo de datos	71
3.3.7.13.	Función de registro de datos	71
3.3.7.14.	Función de marcador avanzada	72
3.3.7.15.	Función de muestreo de puerta	73
3.3.7.16.	Función de calibración de resolución.....	73
3.3.7.17.	Sistema de prueba automatizado de construcción.....	74
3.3.7.18.	Fácil de mantener la precisión.....	74
3.3.7.19.	Aplicaciones	75
3.3.7.20.	LiDAR, medición de haz en espacio libre con diodo láser.....	75
3.3.7.21.	Medición OSNR en el sistema DWDM.....	76
3.3.7.22.	Medición del amplificador óptico (EDFA).....	77
4.	Resultados.....	78
4.1.	Pruebas con el módulo didáctico DWDM.....	78
4.2.	Pruebas con el simulador de OptiSystem.	87
5.	Análisis de resultados	99
6.	Conclusiones	103
7.	Recomendaciones	104
	Bibliografía.....	105
	Anexos	106

Índice de figuras

Figura 2.1 Proceso de modulación y demodulación en fibra óptica para visualizar su función con emisor de luz.	4
Figura 2.2 Límite de Ancho de banda de la fibra óptica (depende de mux).....	6
Figura 2.3 Amplificador óptico.....	7
Figura 2.4 Red DWDM.....	8
Figura 2.5 La disposición en las bandas del espectro de la tecnología DWDM.....	9
Figura 2.6 Anillos en DWDM.....	9
Figura 2.7 Capas de la red de transporte óptica.	10
Figura 2.8 Amplificador óptico.....	11
Figura 2.9 Optisystem.....	13
Figura 2.10 Pantalla principal OptiSystem	16
Figura 2.11 Esquemático Optisystem	17
Figura 2.12 Diagramas Optisystem.....	18
Figura 2.13 Diagramas de ojo y de constelación	19
Figura 2.14 Diagramas de visualización Optisystem.....	20
Figura 2.15 DWDM OptiSystem.....	21
Figura 2.16 Simulación DWDM.....	22
Figura 2.17 Diagramas de OJO	23
Figura 2.18 Potencia de canal DWDM	24
Figura 2.19 CWDM/DWDM.....	25
Figura 2.20 Red CWDM.....	25
Figura 2.21 DWDM MUX/DEMUX	26
Figura 2.22 Transceptores DWDM	27
Figura 2.23 Medidas del equipo.....	27
Figura 2.24 Yokogawa AQ6370D	28
Figura 2.25 Espectro de un láser Fabry-Perot	28
Figura 3.1 Banco de prueba DWDM	60
Figura 3.2 Equipo DWDM.....	61
Figura 3.3 Equipos DWDM para largas distancias.....	63
Figura 3.5 ThorLabs amplificador óptico	63
Figura 3.8 Compact Laser Diode Controller CLD1015	65
Figura 3.9 Analizador Yokogawa AQ6370D.....	65
Figura 3.10 Ejemplo de rango dinámico.....	67
Figura 3.11 Ejemplo de forma espectral	68
Figura 3.12 Ejemplo de visualización de registro de datos.....	72
Figura 3.13 Ejemplo del marcador avanzado.....	73
Figura 3.14 Programación macro.....	74
Figura 3.15 Lidar.....	75
Figura 3.16 Medición OSNR en el sistema DWDM	76
Figura 3.17 Medición del amplificador óptico (EDFA)	77
Figura 4.1 Analizador de espectros ópticos	78
Figura 4.2 Transmisor óptico CLD1015	79
Figura 4.3. Compact Laser Diode Controller CLD1015.....	79
Figura 4.4 Patchcord de fibra óptica	80
Figura 4.5 Emisor de luz.....	80
Figura 4.6 Módulo DWDM conectado	81
Figura 4.7 Conexión del equipo DWDM.....	82

Figura 4.8 Conexión de equipos	82
Figura 4.9 Patchcord de fibra óptica adicional para módulo.....	83
Figura 4.10 Conexión de patchcord	84
Figura 4.11 Calibración del CLD1015	84
Figura 4.12 Visualización del espectro óptico	85
Figura 4.13 Pruebas de mediciones	85
Figura 4.14 Módulo práctico DWDM	86
Figura 4.15 OptiSystem Simulador DWDM con Optisystem.....	87
Figura 4.16 Transmisor óptico con OptiSystem	88
Figura 4.17 Parámetros del TX óptico.....	89
Figura 4.18 Idel Mux y conexiones	89
Figura 4.19 Colocación de 32 puertos	90
Figura 4.20 Colocación del DWDM Analyzer y el Optical Spectrum Analyzer.	90
Figura 4.21 Colocación del Loop Control.	91
Figura 4.22 Loop control en 0	91
Figura 4.23 Colocación de la fibra Óptica y Amplificador de fibra Óptica	92
Figura 4.24 Configuración del amplificador la ganancia se pone 10 db y el Noise Figure de 6 db.	92
Figura 4.25 Colocación nuevamente de la fibra Óptica, un nuevo amplificador y un DWDM Demux.....	93
Figura 4.26 Configuración del DWDM Demux el cual se coloca 32 puertos y la frecuencia 1550 nm.	93
Figura 4.27 Colocación y conexión del Optical Receiver.....	94
Figura 4.28 Colocación y conexión del BER Analyzer.	95
Figura 4.29 Resultado de la gráfica en el Q Factor del BER Analyzer.	96
Figura 4.30 Resultado de la gráfica en el Min BER en el BER Analyzer.	96
Figura 4.31 Resultado de la gráfica en el Threshold en el BER Analyzer	97
Figura 4.32 Resultado de la gráfica en el BER Pattern en el BER Analyzer.....	97
Figura 4.33 Resultado de la gráfica en el Height en el BER Analyzer.....	98
Figura 5.1 Módulo práctico de pruebas DWDM	99
Figura 5.2 Resultados con el software Optisystem.	100
Figura 5.3 Exposición del banco de pruebas DWDM.	101
Figura 5.4 Explicación de la instalación del módulo práctico.....	101
Figura 5.5 Revisión de conexiones del módulo DWDM	102

Índice de tablas

Tabla 2.1 BOA1004P	39
Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del DWDM	62
Tabla 3.3 Precisión de alta longitud de onda: $\pm 0.01\text{nm}$	66
Tabla 3.4 Rango dinámico ultra alto: 78dB típ	67
Tabla 3.5 Borde de filtro más afilado.....	68
Tabla 3.6 Relación de supresión de luz parásita: 80 dB típ.....	69
Tabla 3.7 Ejemplo de relación de supresión de luz parásita	69
Tabla 3.8 Entrada de conexión al analizador	70

Introducción

Existe un incremento de despliegue de redes de fibra óptica en el Ecuador, debido al creciente uso de servicios de banda ancha por internet, a consecuencia de la pandemia del año 2020, el teletrabajo y la teleeducación cada día los usuarios requieren de mayores capacidades de ancho de banda para mantener servicios como streaming de audio y video, videoconferencias, y tráfico de voz y datos sobre ip. Estos requerimientos en específico se dan de una mejor manera en redes de fibra óptica específicamente en tecnologías FTTH (Fiber to the Home) o GPON (Gigabit-capable Pasive Optical network)

Las empresas de telecomunicaciones al incrementar sus redes de fibra óptica requieren de personal calificado y capacitado para mantener, operar y desplegar este tipo de redes, de esta manera la línea del negocio se mantiene constante con servicios disponibles para sus usuarios.

En este contexto se plantea el presente trabajo de titulación denominado “Diseño e implementación de un módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana”, el cual consiste en un módulo de práctica con equipamiento de fibra óptica, software OPTISYSTEM, multiplexador y demultiplexador de fibra óptica. Se realizará un manual de práctica en para el uso de estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

El módulo pondrá en práctica la teoría de la multiplexación y demultiplexación óptica, en la cual varias señales portadoras se transmiten por una fibra óptica utilizando distintas longitudes de onda de un haz de luz láser en cada una de ellas. El presente proyecto está diseñado para guiar y fortalecer los conocimientos teóricos de los estudiantes obtenidos en clases, por medio de prácticas y de esta manera observar la diferencia entre una práctica realizada con equipos reales y otra realizada en un software, el software a utilizar es el OPTISYSTEM. De esta manera se realizará la comparativa y se observará el comportamiento entre análisis digital y físico de la modulación DWDM, analizando la eficiencia y comportamiento del sistema de comunicación.

El libro se estructura de la siguiente forma:

En la primera sección se detalla la descripción del problema, importancia y alcance, delimitación, impacto, justificación y objetivos del proyecto.

En la segunda sección se describe el marco teórico fundamental con relación al objeto de la investigación

En la tercera sección se realiza la propuesta donde se detallan los elementos a utilizarse en el módulo didáctico.

En la cuarta sección se obtienen los resultados de la investigación.

En la quinta sección se realizan el análisis de resultados, posteriormente se analizan las conclusiones y recomendaciones. Como anexo del libro de tesis se realiza un manual de práctica de laboratorio.

1. El problema

1.1. Descripción del problema

Un problema detectado en la preparación de los futuros ingenieros en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es la falta de prácticas en el campo de la fibra óptica.

Hoy en día las empresas de telecomunicaciones requieren de personal altamente calificado y preparado en temas de redes de fibra óptica en lo teórico y práctico.

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en los últimos años ha adquirido equipos para medición y fusión de fibra óptica, uno de estos equipos es el analizador de espectros ópticos, utilizado para mediciones, análisis e investigación dentro del campo de la fibra óptica.

Los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones requieren disponer de manuales de prácticas para el uso de estos equipos, que combinado con otro equipo como el MUX DEMUX óptico y software de simulación como OPTISYSTEM, complementarán los conocimientos técnicos prácticos de los estudiantes en el campo de la fibra óptica.

Se plantea en este trabajo de titulación un banco de pruebas conformado por un módulo multiplexador y demultiplexador de fibra óptica DWDM, lo que permitirá que el estudiante de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones pueda analizar y estudiar el comportamiento de las señales multiplexadas ópticamente con DWDM.

1.2. Importancia y alcance

Con este aporte investigativo que consiste en un módulo didáctico DWDM para prácticas de fibra óptica los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil aplicarán sus conocimientos teóricos y prácticos de DWDM en el campo laboral, dando como resultado mejora en la calidad de los servicios de telecomunicaciones que las empresas entregan a sus abonados.

Por lo tanto, la importancia de esta investigación es grande ya que ayudará a la formación de los futuros ingenieros en el campo de las redes de fibra óptica con énfasis en sistemas DWDM.

1.3. Delimitación

1.3.1. Delimitación temporal

La planificación correspondiente al diseño, desarrollo e implementación del proyecto de este trabajo de investigación se realizará por seis meses y culminará los primeros meses del año 2021.

1.3.2. Delimitación espacial

El proyecto de titulación propuesto será realizado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, ubicada en el edificio F, barrio Cuba dirección Chambers 227 y 5 de enero, específicamente en el laboratorio de telecomunicaciones.

1.3.3. Delimitación social

El proyecto de titulación propuesto beneficia a los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.4. Impacto

El proyecto y los equipos utilizados se implementarán para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para ser utilizado en prácticas de laboratorio facilitando al estudiante el análisis físico del comportamiento de la modulación DWDM, de esta manera se espera motivar al estudiante de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones a la práctica dentro del campo de la fibra óptica.

1.5. Justificación

En la actualidad se presencia una auténtica revolución de las comunicaciones avanzadas, derivada principalmente de la liberalización del sector y del crecimiento de los usuarios de Internet, los servicios de datos y la telefonía móvil. Las soluciones que tienen la mayoría de los proveedores de telecomunicaciones para satisfacer este aumento de la demanda de tráfico son diversas. Por una parte, pueden instalar más fibra, aunque ésta es una solución costosa y en algunos casos no viable. No obstante, el principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio es el relacionado con el salto a una capacidad mayor de la velocidad de internet. La mejor alternativa que tienen los operadores consiste en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes. En este artículo se realizará el análisis de las redes DWDM, sus características principales y los aspectos que influyen en su diseño e implementación para un funcionamiento óptimo y escalable a futuro.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para el laboratorio de comunicaciones ópticas.

1.6.2. Objetivo específico

- Analizar y estudiar que los diferentes elementos presentes en un sistema de transmisión DWDM para comunicaciones ópticas.
- Diseñar, analizar y construir un módulo de un canal óptico.
- Analizar el comportamiento de la modulación DWDM por medio de OPTISYSTEM.
- Definir el mejor comportamiento entre análisis digital y físico de la modulación DWDM.
- Analizar la eficiencia y el comportamiento del sistema de comunicación.
- Analizar y comprobar que los rangos de los resultados tanto físico como digital estén dentro de los parámetros.

2. Marco teórico

2.1. Descripción del sistema de comunicaciones ópticas

La comunicación óptica es cualquier tipo de información en la que se utiliza luz en lugar de corriente eléctrica para transmitir señales al otro extremo. Las comunicaciones ópticas se basan en fibras ópticas para transmitir señales al destino. La fuente de luz (láser o diodo emisor de luz, LED) es impulsada por el modulador y la luz se enfoca en la fibra óptica.

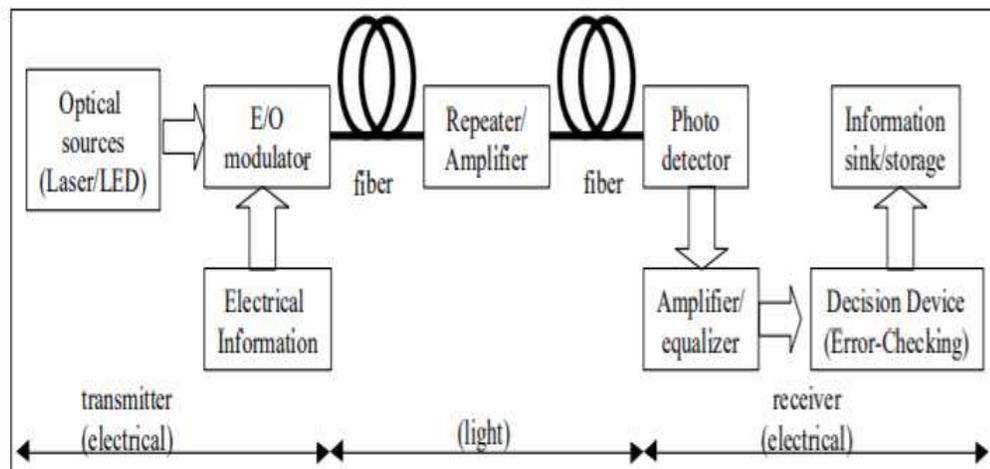


Figura 2.1 Proceso de modulación y demodulación en fibra óptica para visualizar su función con emisor de luz.

Fuente: (Ferrín, 2014)

El haz de luz viaja a lo largo de la fibra óptica y es amplificado o regenerado por el repetidor / amplificador de tiempo. Durante este período, puede dispersarse y perder la señal. En el extremo receptor, la luz se alimenta al detector y convierte la señal eléctrica enviada desde el transmisor. Luego, la señal se amplifica y se envía a otro detector, que aísla los cambios de estado individuales y su sincronización.

A continuación, decodifica la secuencia de cambios de estado y reconstruye el flujo de bits original, y con ello garantiza recibir exactamente lo que el transmisor envió. (Castillo, 2019)

2.2. Ventajas del sistema de comunicación óptica

La comunicación por medio de fibra óptica tiene ventajas superiores en comparación con la comunicación a través de pares de cobre, cable coaxial, ya que, en primer lugar, la fibra óptica es significativamente más pequeña, más ligera y hoy en día su precio es accesible, mucho mejor que hace 10 años atrás.

Además de la inmunidad a interferencias electromagnéticas, baja atenuación, mayor transferencia de datos etc.

Con respecto a la transmisión eléctrica, se puede decir que las fibras ópticas han sustituido en gran medida las comunicaciones de cable de cobre en las redes centrales, a nivel mundial.

Hoy en día la red principal de empresas de telecomunicaciones es desplegada bajo fibra óptica.

2.3. Conceptos básicos de los dispositivos utilizados en un sistema de comunicación óptico

Los sistemas de comunicación ópticos constan de los siguientes dispositivos:

2.3.1. El Transmisor óptico

Tiene una entrada eléctrica y la convierte en la salida de luz de un diodo láser o LED. La luz del transmisor se acopla a la fibra óptica a través del conector y se transmite a través de la fábrica de cables ópticos. La luz del extremo de la fibra se acopla al receptor, donde el detector convierte la luz en una señal eléctrica y luego la ajusta adecuadamente para que la use el equipo receptor.(Castillo, 2019)

2.3.2. Receptor óptico

Utilizan detectores de semiconductores (fotodiodos o fotodetectores) para convertir señales de luz en señales eléctricas. Los fotodiodos de silicio se utilizan para enlaces de longitud de onda corta.

2.3.3. Fibra óptica

Una tecnología que utiliza cables (fibras) de vidrio (o plástico) para transmitir datos. Los cables de fibra óptica consisten en un conjunto de filamentos de vidrio, cada uno de los cuales puede transmitir mensajes modulados en ondas de luz. El gráfico muestra el aumento de capacidad de fibra desde su aparición hasta 2010, donde el aumento de capacidad se observa en unidades de decenas de terabytes.(Tomasi, 2003)

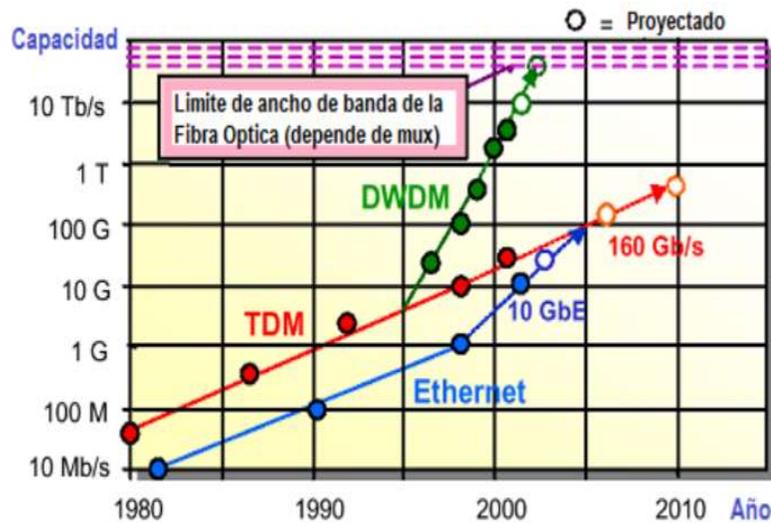


Figura 2.2 Límite de Ancho de banda de la fibra óptica (depende de mux)
Fuente: (Ferrín, 2014)

La velocidad de transmisión de datos se ha desarrollado y el uso de la tecnología de multiplexación moderna permite superar la capacidad de comunicación óptica. Por lo tanto, la velocidad de datos de fibra única (TDM) utilizada en 1998 es de unos 10 Gbps, que es muy alta. Palabras. En cuanto a la transmisión telefónica del mejor sistema de cable coaxial, existen aproximadamente 2.000 circuitos de voz analógicos. Las conexiones de fibra óptica de 150 Mbps proporcionan más de 2000 conexiones en teléfonos digitales (64 Kbps). Al enviar múltiples canales (división de longitud de onda multiplexada) en una sola fibra, esta capacidad se puede aumentar en cien o incluso miles de veces. Los datos se transmiten a través de diferentes canales, cada canal tiene su propia longitud de onda y no hay ningún efecto electromagnético en el proceso de transmisión.

Dado que la conexión no es una conexión eléctrica, es posible que no capte ni genere interferencias eléctricas (fuente principal de ruido). Por lo tanto, dado que cada canal es independiente entre sí, la interferencia de señal casi se reduce. Ésta es una de las razones por las que la comunicación óptica tiene tan pocos errores. Casi nada puede interferir o interferir con la señal. En un edificio, si el cable de fibra óptica no está "aislado" del cable de media tensión o del equipo eléctrico, surgirán problemas porque el campo electromagnético emitido por el equipo eléctrico y el cable de media tensión provocará interferencias (por ejemplo, cerca de motores de ascensores o En el canal de cable del cable).

Por lo tanto, se deben respetar las normas técnicas y de instalación para cables o medios de comunicación guiados, es decir, debe garantizarse el aislamiento de las interferencias electromagnéticas. (Pastor Abellán, Ramos Pascual, & Capmany Franco, 2007)

2.4. Componentes de una red DWDM.

2.4.1. Emisores de detectores de luz

Son dispositivos activos que convierten las señales eléctricas en pulsos de luz.

2.4.2. Fuentes

Son dispositivos emisores de luz compactos (se direcciona la luz a un punto), monocromáticos (en la práctica no existen), estables y duraderos.

Existen dos tipos de fuentes de luz:

- Los diodos emisores de luz (Leds)
- Diodos láseres semiconductores.

2.4.3. Detectores

En el receptor es necesario recuperar las señales transmitidas a diferentes longitudes de onda, generalmente se usan foto detectores que son dispositivos de banda ancha, que reciben la señal del Demultiplexor y la convierten nuevamente en señales eléctricas.

Existen dos tipos de foto detectores:

- El fotodiodo positivo-intrínseco-negativo (PIN)
- El fotodiodo avalancha (APD)

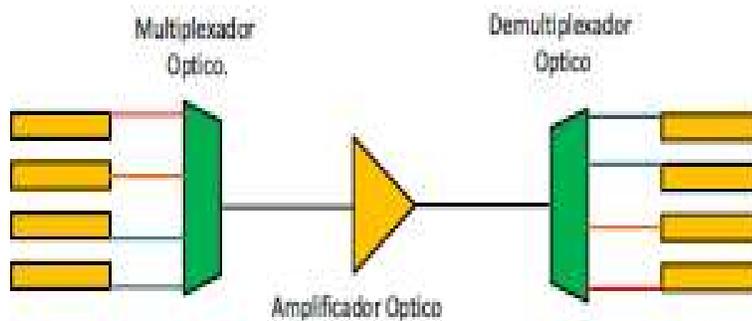


Figura 2.3 Amplificador óptico
Fuente: (Ferrín, 2014)

2.5. Red de DWDM

La tecnología WDM, sus diferentes clases con énfasis en la Multiplexación por División por Longitud de Onda Densa se presentan los diferentes elementos que integran los sistemas DWDM, así como las topologías que se encuentran.

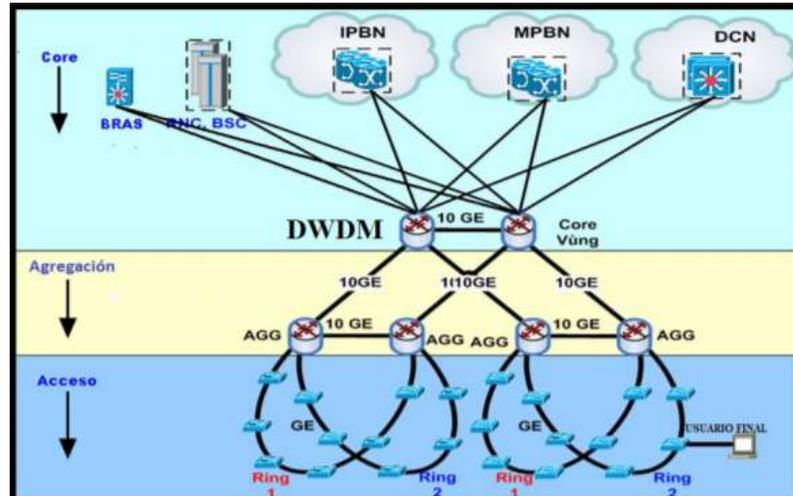


Figura 2.4 Red DWDM
Fuente: (ZTE, 2021)

El diseño de redes jerárquicas implica la división de la red en capas independientes cada capa cumple funciones específicas que definen su rol dentro de la red general la separación de las diferentes funciones existentes en una red hace que el diseño de la red se vuelva modular y esto facilita la escalabilidad y el rendimiento este modelo del diseño jerárquico típico se separa en tres capas de acceso, capa de distribución, capa de núcleo. (Tomasi, 2003)

2.6. Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa

La Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) se caracteriza por un menor espaciado entre los canales o longitudes de onda que en CWDM en la recomendación G.694.1 se define el plan espectral para esta tecnología a partir de una frecuencia central correspondiente a los 193.10 THz. como se muestra me la Figura 3 Actualmente se encuentra estandarizado por la UIT cuatro espaciados en frecuencia entre canales para el DWDM: 12.5 GHz, 25 GHz, 50 GHz y 100 GHz; aunque se tiene en cuenta espaciados múltiples enteros de 100 GHz hasta llegar a 1 THz.

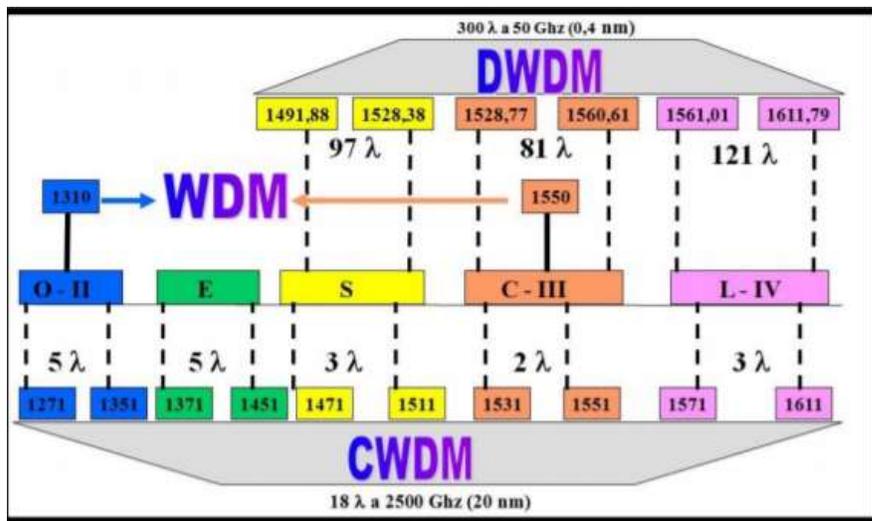


Figura 2.5 La disposición en las bandas del espectro de la tecnología DWDM
Fuentes: (Palma, Luis, & Carlos Herrera, 2020)

Los sistemas DWDM tienen dos sentidos bidireccionales y unidireccionales en los sistemas unidireccionales las longitudes de onda multiplexadas viajan en un mismo sentido por lo que se necesitan dos fibras para transmitir en ambas direcciones se divide el espectro en dos bandas una para cada dirección, esto permite emplear una sola fibra óptica pero reduce el número de canales del sistema en general además de hacer un uso más eficiente del ancho de banda que ofrece la fibra óptica y de aumentar la capacidad de los sistemas de transmisión los sistemas DWDM son escalables y brindan gran flexibilidad asignan dinámicamente el ancho de banda según la demanda y permite la inserción y extracción de una longitud de onda sin afectar a las demás. (Palma et al., 2020)

2.7. Anillos de DWDM

Un anillo de la DWDM se refiere a la topología de red en la que cada nodo se conecta exactamente a otros dos nodos, formando una única vía continua para las señales a través de cada nodo o entre nodo es una configuración de anillo está diseñada para soportar una sola falla el sistema se reconfigura automáticamente como se muestra en la figura 6.

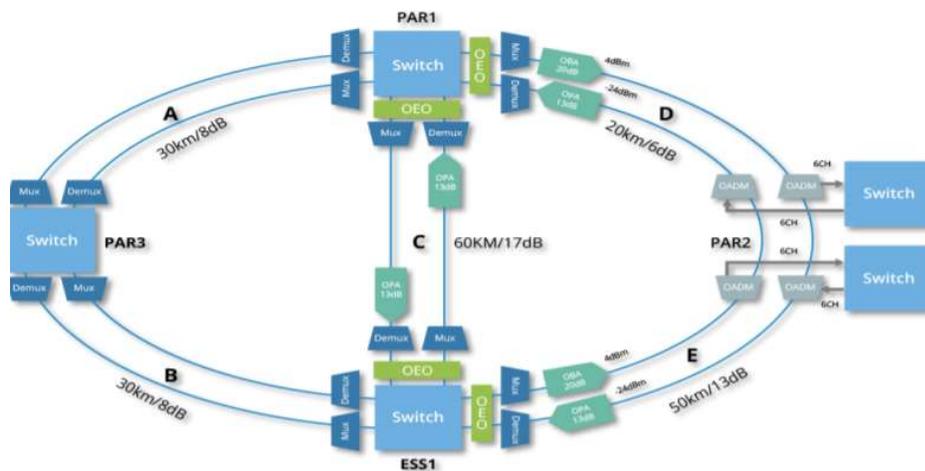


Figura 2.6 Anillos en DWDM.
Fuentes: (<https://www.wiley.com/>, 2021)

De forma similar, una red en anillo DWDM incluye una fibra en una configuración de anillo que interconecta los nodos por completo dos anillos de fibra incluso se presentan en algunos sistemas para la protección de la red esta topología de anillo DWDM se adopta comúnmente en un área local o metropolitana que puede abarcar algunas decenas de kilómetros 28 muchos canales y nodos de longitud de onda pueden estar involucrados en el sistema de anillo DWDM. (<https://www.wiley.com/>, 2021)

2.8. Capas de una red de transporte óptica

Una red de transporte óptica consta de 3 capas de Canal Óptico (OCh), de sección de Multiplex Óptico (OMS) y de Sección de transmisión Óptica (OTS) en la figura siguiente se muestra el alcance de dichas capas como se muestra en la siguiente figura.

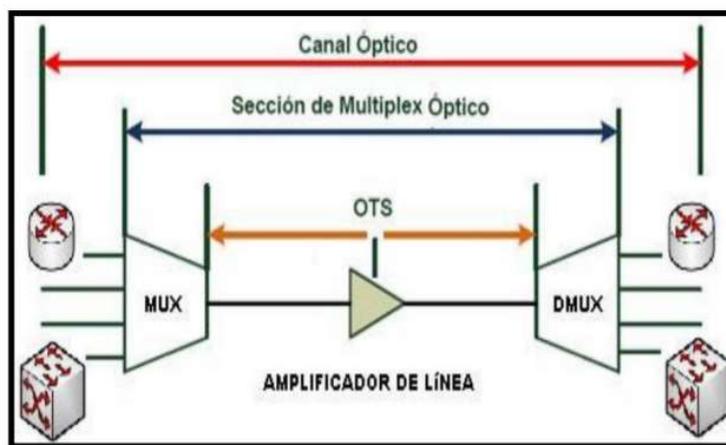


Figura 2.7 Capas de la red de transporte óptica.

Fuente: (IEEE Communications Society, IEEE Photonics Society, Optical Society of America, & Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.)

2.8.1. Capa de canal óptico (OCh)

En esta capa tiene vital importancia la terminación de camino del canal óptico en este punto tienen lugar varios procesos entre los que se encuentran dentro de la validación de la integridad de la conectividad “la evaluación de la calidad de la transmisión y la detección e indicación de defectos en la transmisión una señal óptica de ancho de banda máximo y relación señal a ruido definidas, asociada con la conexión de red por canal óptico un tren de datos que constituye tara fuera de canal” (Paul Littlewood, 2015).

2.8.2. Capa de sección de multiplex (OMS)

La capa de sección de multiplex es la que ofrece la funcionalidad para la interconexión de redes ópticas asegura la integridad de la información adaptada a la sección de multiplex y posee funciones de operación y mantenimiento para esta capa.

2.8.3. Capa de Transmisión Óptica (OTS)

En esta capa se lleva a cabo el transporte de la señal proveniente de la capa de sección de multiplex óptica (OMS) entre puntos de acceso. "Hay que señalar que una sección de transmisión óptica de orden n solo es capaz de transmitir una sección de multiplex de orden similar, esto determina una relación biunívoca entre ambas capas"(Paul Littlewood, 2015).

2.9. Amplificador Óptico (AO)

La enorme escala de la red de transmisión óptica está particularmente limitada por la atenuación introducida por el medio de transmisión. En este caso, se utiliza la fibra óptica en el regenerador del sistema tradicional de larga distancia, también llamado agregador, en el que la señal óptica recibida se convierte en electricidad. La señal se procesa y luego se convierte nuevamente en una señal óptica. Estos agregadores son muy complejos y relativamente costosos de usar en sistemas DWDM, mientras que los amplificadores ópticos se usan para compensar la atenuación del enlace en las redes WDM. "Es una forma de recibir una o más longitudes de onda y pasar la emisión estimulada en un medio activo adecuado Ampliar su equipo al mismo tiempo " por la cual este proceso ocurre sin convertir las señales a eléctricas aumentando así la fiabilidad del sistema de transmisión se muestra en la figura se muestra un esquema del proceso de amplificación en un sistema WDM.

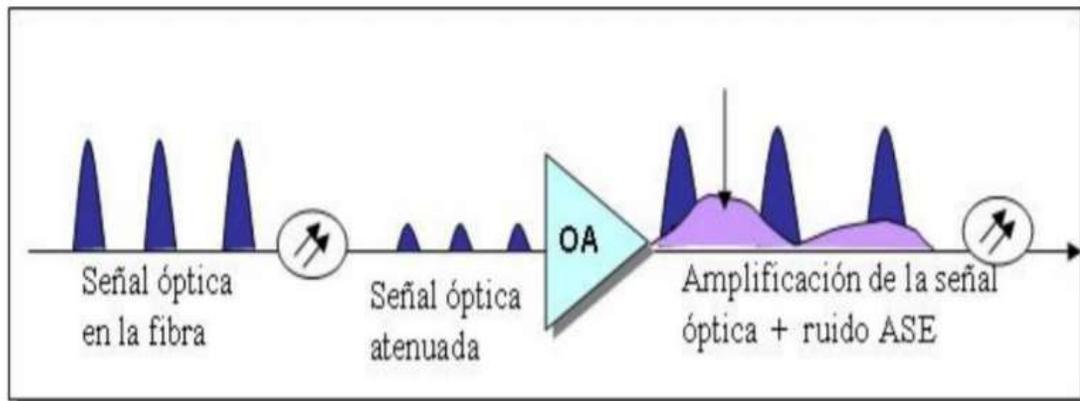


Figura 2.8 Amplificador óptico.

Fuentes: (Kinlin, 2007)

Las amplificaciones se alcanzan mediante un proceso de bombeo por la cual se aumenta la potencia de las señales de entrada este bombeo se realiza con una fuente local que acopla su potencia a las señales incidentes de esta forma se amplifican estas señales mediante la transferencia de potencia de forma directa o a través de las impurezas del medio.

2.10. OptiSystem

OptiSystem es un programa de simulación que permite realizar diseños de redes de fibra óptica posibilitando configurar sus características esenciales, así como realizar diversos tipos de pruebas. Permite diseñar y crear diferentes tipos de arquitecturas con

la implementación de diversos dispositivos disponibles en la librería, donde incluye una amplia biblioteca de componentes activos y pasivos que incorporan parámetros reales que son dependientes de la longitud de onda.

Se presenta como una herramienta que contribuye al mejor diseño de enlaces de transmisiones ópticas, los resultados obtenidos tienen un gran porcentaje de aproximación a los resultados reales, esto permite realizar pruebas, análisis de calidad, detección de errores, experimentar con nuevas configuraciones a nuevas distancias, nuevas distribuciones e implementación de nuevos dispositivos.

OptiSystem proporciona la capacidad de realizar un esquema virtual de cualquier tipo de enlace óptico en la capa física, además efectuar análisis de un gran número de redes de diferentes niveles de complejidad. (Optiwave.com, 2021)

- Diseño de arquitecturas y redes existentes
- Implementación de redes SONET/SDH de redes anillo.
- Implementación de nuevos dispositivos ópticos como amplificadores, receptores, transmisores, etc.
- Proyección de mapa de dispersión.
- Sistemas ópticos en el espacio libre (FSO).

2.10.1. Beneficios específicos

- Proporciona información global sobre el rendimiento del sistema
- Evalúa las sensibilidades de los parámetros ayudando a las especificaciones de tolerancia de diseño
- Presenta visualmente opciones de diseño y escenarios a posibles clientes.
- Ofrece acceso directo a amplios conjuntos de datos de caracterización del sistema
- Proporciona barrido y optimización de parámetros automáticos
- Se integra con la familia de productos Optiwave

2.10.2. Aplicaciones

Creado para abordar las necesidades de científicos de investigación, ingenieros de telecomunicaciones ópticas, integradores de sistemas, estudiantes y una amplia variedad de otros usuarios, OptiSystem satisface la demanda del mercado de la fotónica en evolución de una herramienta de diseño de sistemas ópticos potente pero fácil de usar.

OptiSystem permite a los usuarios planificar, probar y simular (tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia):

- Diseños de redes ópticas que incluyen OTDM, anillos SONET / SDH, CWDM, DWDM, PON, Cable, OCDMA
- Transmisión monomodo / multimodo
- Óptica de espacio libre (FSO), Radio sobre fibra (ROF), OFDM (directo, coherente)
- Amplificadores y láseres (EDFA, SOA, Raman, híbrido, optimización GFF, láseres de fibra)
- Procesamiento de señales (eléctrico, digital, totalmente óptico)

2.10.4. Integración con herramientas de software Optiwave

OptiSystem le permite emplear herramientas de software Optiwave específicas para fibra óptica integrada a nivel de componentes y circuitos: OptiSPICE, OptiBPM, OptiGrating y OptiFiber.

2.10.5. Representación de señales mixtas

OptiSystem maneja formatos de señales mixtas para señales ópticas y eléctricas en la biblioteca de componentes. OptiSystem calcula las señales utilizando los algoritmos apropiados relacionados con la precisión y eficiencia de simulación requeridas.

2.10.6. Algoritmos de calidad y rendimiento

Para predecir el rendimiento del sistema, OptiSystem calcula parámetros como BER y Q-Factor utilizando análisis numéricos o técnicas semi-analíticas para sistemas limitados por interferencia y ruido entre símbolos.

2.10.7. Herramientas de visualización avanzadas

Las herramientas de visualización avanzadas producen OSA Spectra, chirrido de señal, diagramas de ojo, estado de polarización, diagramas de constelación y mucho más. También se incluyen herramientas de análisis WDM que enumeran la potencia de la señal, la ganancia, la figura de ruido y el OSNR por canal.

2.10.8. Monitores de datos

Puede seleccionar puertos de componentes para guardar los datos y conectar monitores después de que finalice la simulación. Esto le permite procesar datos después de la simulación sin volver a calcular. Puede adjuntar una cantidad arbitraria de visualizadores al monitor en el mismo puerto.

2.10.9. Simulación jerárquica con subsistemas

Para que una herramienta de simulación sea flexible y eficiente, es esencial proporcionar modelos en diferentes niveles de abstracción, incluidos los niveles de sistema, subsistema y componentes. OptiSystem presenta una definición verdaderamente jerárquica de componentes y sistemas, lo que permite que la simulación sea tan detallada como dicta la precisión deseada.

2.10.10. Potente lenguaje de escritura

Puede ingresar expresiones aritméticas para los parámetros y crear parámetros globales que se pueden compartir entre componentes y subsistemas utilizando el lenguaje de script VB estándar. El lenguaje de secuencia de comandos también puede

manipular y controlar OptiSystem, incluidos los cálculos, la creación de diseños y el posprocesamiento.

2.10.11. Flujo de datos de cálculo de última generación

El Programador de cálculo controla la simulación determinando el orden de ejecución de los módulos componentes de acuerdo con el modelo de flujo de datos seleccionado. El modelo de flujo de datos principal que aborda la simulación de la capa de transmisión es el flujo de datos de iteración de componentes (CIDF). El dominio CIDF usa programación en tiempo de ejecución, condiciones de soporte, iteración dependiente de datos y recursividad verdadera. Software de diseño de amplificadores y sistema de comunicación óptica OptiSystem

2.10.12. Reportar pagina

Una página de informe totalmente personalizable le permite mostrar cualquier conjunto de parámetros y resultados disponibles en el diseño. Los informes producidos están organizados en hojas de cálculo movibles y de tamaño variable, texto, gráficos 2D y 3D. También incluye exportación HTML y plantillas con diseños de informes preformateados.

2.10.13. Lista de materiales

OptiSystem proporciona una tabla de análisis de costos del sistema que se está diseñando, organizada por sistema, disposición o componente. Los datos de costos se pueden exportar a otras aplicaciones u hojas de cálculo.

2.10.14. Varios diseños

Puede crear muchos diseños utilizando el mismo archivo de proyecto, lo que le permite crear y modificar sus diseños de manera rápida y eficiente. Cada archivo de proyecto OptiSystem puede contener muchas versiones de diseño. Las versiones de diseño se calculan y modifican de forma independiente, pero los resultados de los cálculos se pueden combinar en diferentes versiones, lo que permite comparar los diseños.

2.11. Características principales de Optisystem

OptiSystem proporciona la suite de diseño de fotónica y comunicación óptica más completa para ingenieros de diseño óptico. Sus características clave incluyen:

2.11.1. Biblioteca de transmisores

La biblioteca de transmisores de OptiSystem contiene una amplia selección de fuentes ópticas (Fabry-Perot, DFB, VCSEL), generadores de impulsos de señal eléctrica y

óptica , moduladores ópticos (EA, MZ), moduladores y codificadores eléctricos (QAM, PAM, FSK, OFDM) y múltiples -generadores de señal de modo (Laguerre-Gaussiano, Hermite-Gaussiano).

Los diseñadores pueden elegir entre modelos (empíricos) basados en medidas o físicos avanzados para modelar el comportamiento estático y dinámico de los láseres semiconductores. Nuestros modelos físicos incluyen ecuaciones de velocidad láser multimodo 1D y 2D, que brindan a los diseñadores la capacidad de cambiar entre modelos de velocidad láser masiva y el método de matriz de línea de transmisión (TLMM).

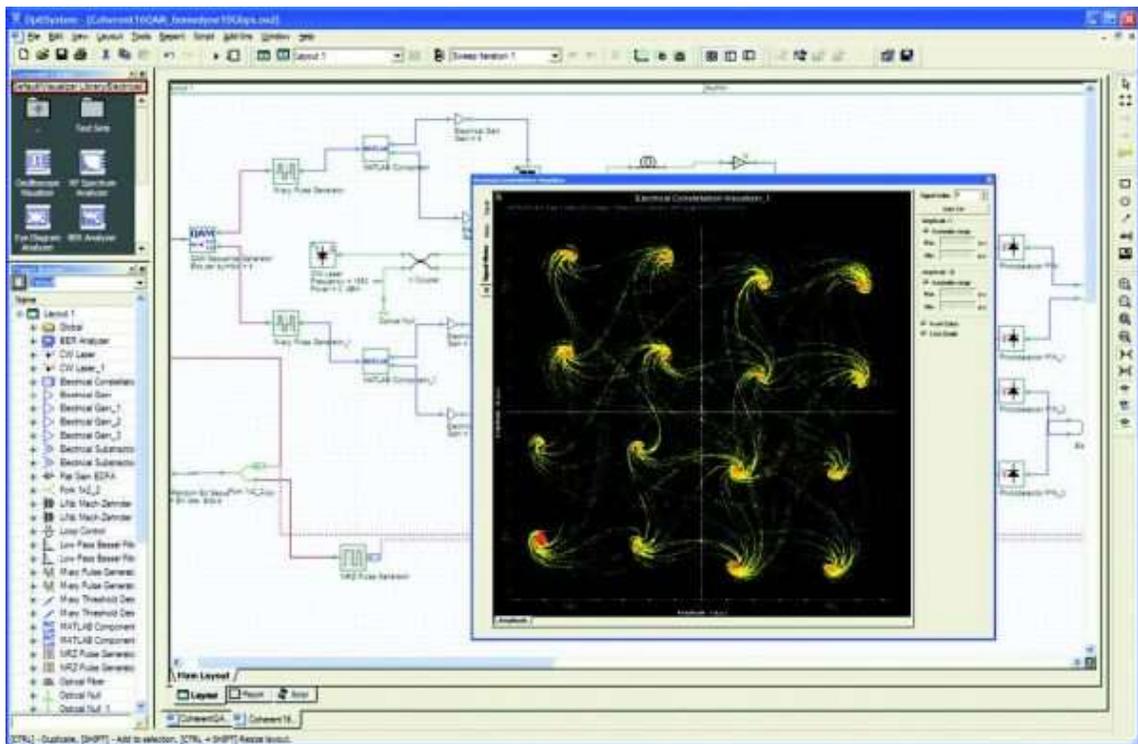


Figura 2.10 Pantalla principal OptiSystem
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.11.2. Biblioteca de receptores

La biblioteca de receptores contiene todos los componentes básicos necesarios para modelar con precisión los subsistemas receptores de comunicaciones ópticas. Los componentes incluyen regeneradores (reloj / recuperación de datos, 3R), equalizadores electrónicos, detectores de umbral, circuitos de decisión para modulación PSK / QAM, fotodetectores PIN y APD, demoduladores (OFDM, frecuencia, amplitud de fase), decodificadores (PAM, QAM, PSK), etc.) y conjuntos de herramientas de procesamiento de señales digitales (DSP) para sistemas PSK y QAM coherentes de polarización simple y doble.

2.11.3. Tipos de fibras ópticas

Se pueden utilizar modelos de fibra óptica avanzados y altamente parametrizados para caracterizar la propagación de señales monomodo y multimodo; incluyendo degradaciones lineales (dispersión), estocásticas (PMD) y no lineales (FWM, modulación de fase propia y modulación de fase cruzada). Usando el componente de fibra óptica bidireccional de OptiSystem, es posible modelar y medir los efectos de dispersión de Rayleigh, Brillouin y Raman.

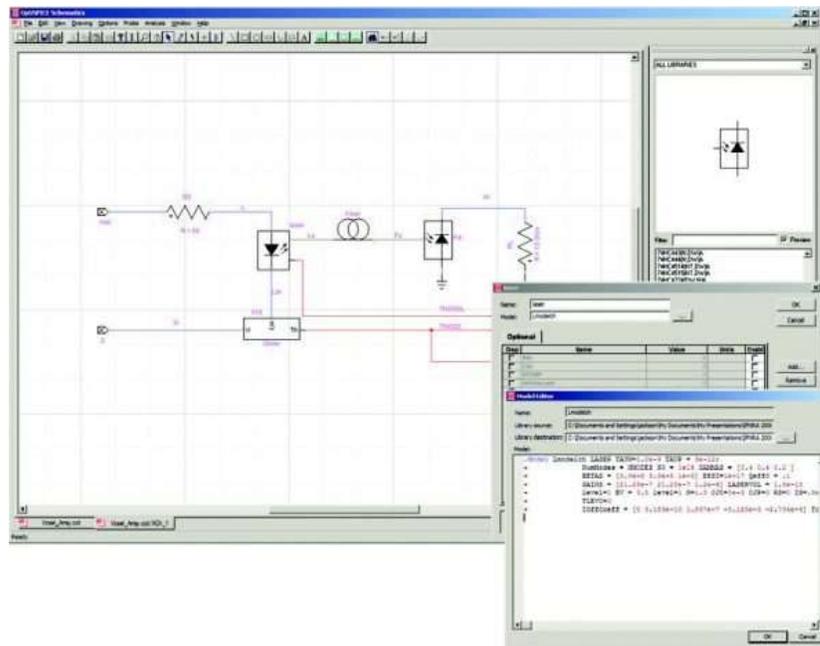


Figura 2.11 Esquemático Optisystem
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

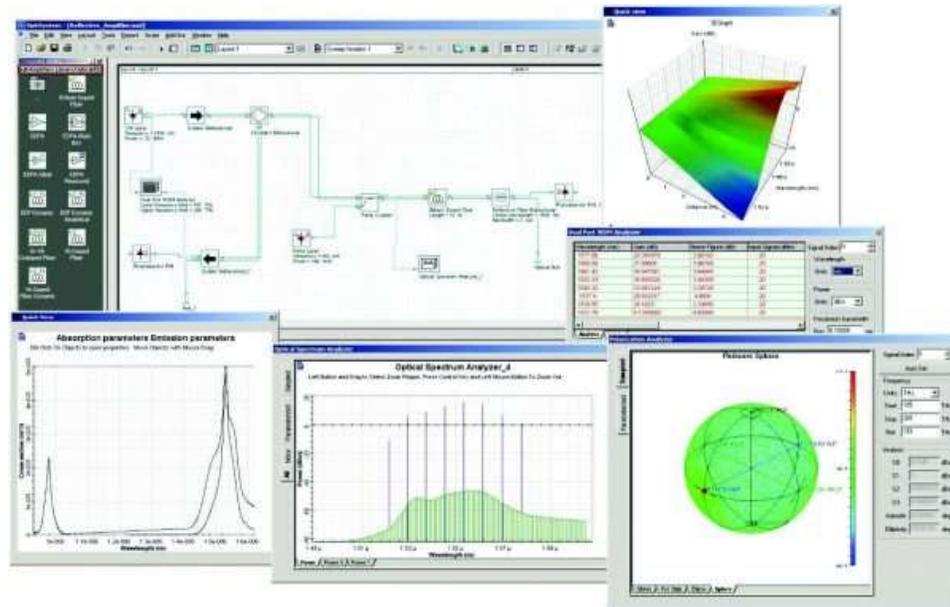


Figura 2.12 Diagramas Optisystem
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.11.4. Amplificadores

Se proporciona un conjunto completo de modelos de amplificadores ópticos dinámicos y de estado estable, incluidos modelos avanzados de fibra dopada (Er, Er multimodo, Er-Yb, Yb, Yb multimodo, Tm, Pr) para un diseño detallado del amplificador de fibra física; Caja negra EDFA y EDFA (espectro de ganancia, medidas de factor de ruido) para el diseño de sistemas de red WDM; modelos Raman de potencia media y dinámica; y modelos de amplificador óptico de semiconductores 1D / 2D (ecuación de velocidad concentrada, onda viajera, TLMM). También se proporcionan amplificadores de dominio eléctrico para el diseño de receptores (transimpedancia, control automático de ganancia y aplicaciones de amplificador limitador).

2.11.5. Herramientas de diseño de redes

Las herramientas de diseño de red incluyen modelos ideales y no ideales para conmutadores ópticos, multiplexores, demultiplexores, guías de onda de matriz (AWG), conectores de fibra y emuladores de PMD.

2.11.6. Filtros

Se proporciona una variedad de filtros eléctricos y ópticos para la simulación del diseño del subsistema y del sistema, incluidas las funciones de filtro estándar (Bessel, Gaussian, RC, Coseno elevado, etc.), filtros digitales IIR / FIR, filtros periódicos, filtros reflectantes / FBG, medidos filtros, filtro de parámetros S y acústico-óptico.

2.11.7. Pasivos

Se puede utilizar una amplia selección de componentes pasivos ópticos y eléctricos para construir una variedad de diseños de componentes y subsistemas. Los dispositivos ópticos incluyen atenuadores, acopladores, divisores y combinadores, controladores de polarización, reflectores, grifos, aisladores y circuladores. Los dispositivos eléctricos incluyen acopladores híbridos de 180 y 90 grados, bloqueadores de CC, divisores y combinadores de potencia y líneas de transmisión de RF.

También se proporcionan modelos para permitir a los diseñadores utilizar datos medidos para caracterizar las funciones de transferencia del dispositivo, incluidas las matrices de dispersión de señales pequeñas (S) y la matriz de Jones.

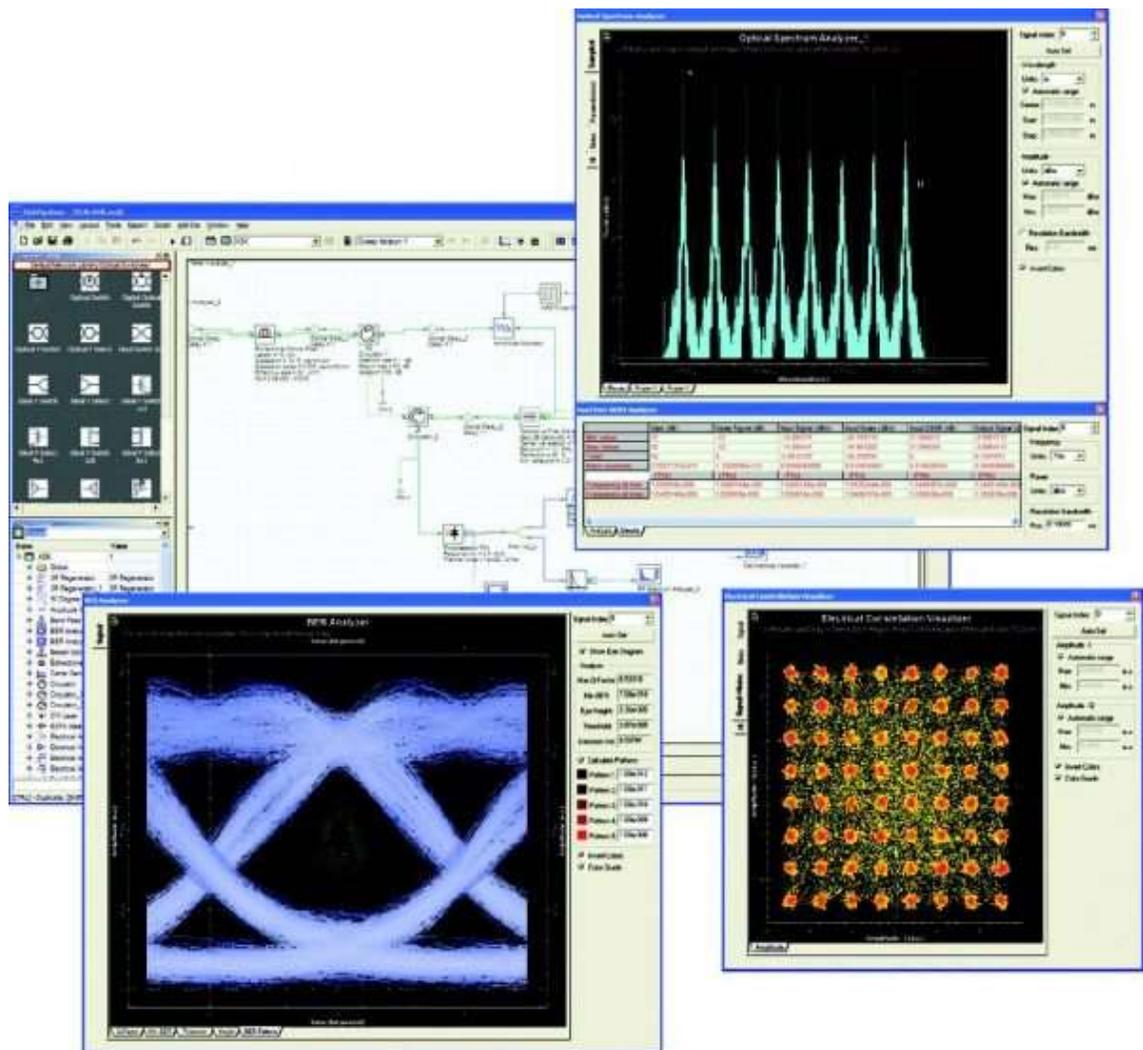


Figura 2.13 Diagramas de ojo y de constelación
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.11.8. Procesamiento de la señal

Se proporcionan herramientas de procesamiento de señales para manipular señales ópticas, eléctricas y binarias. Las funciones y operaciones incluyen generadores de polarización, ganancia, suma y resta de señales, normalizadores, diferenciadores e integradores eléctricos, muestreadores descendentes, convertidores serie-paralelo y paralelo-serie, flip-flops eléctricos y operadores lógicos eléctricos / binarios.

2.11.9. Herramientas de diseño de ópticas espaciales y de espacio libre

OptiSystem tiene componentes especializados que pueden modelar canales ópticos en el espacio libre (características de la antena, propagación atmosférica) y el análisis espacial del acoplamiento de señales multimodo entre dispositivos (generadores multimodo, conectores espaciales, lentes delgadas, visualizadores espaciales).

2.11.10. Herramientas de visualización

Las herramientas de análisis de visualización y post-simulación incluyen analizadores y equipos de prueba BER, analizadores de diagramas de ojos, analizadores de espectro, osciloscopios, visores ópticos en el dominio del tiempo, medidores de potencia, analizadores de polarización, visualizadores espaciales, flujo circundado, analizador DMD, analizador fotónico de todos los parámetros, analizador de filtros y extractor de parámetros S.

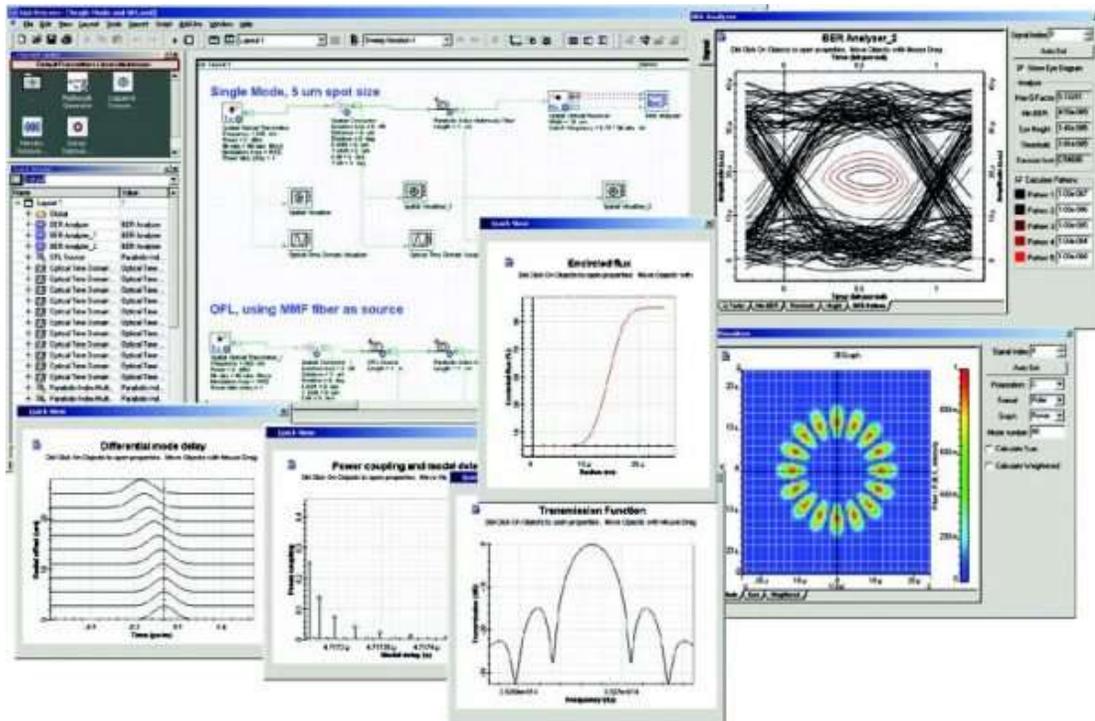


Figura 2.14 Diagramas de visualización Optisystem
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.11.11. DWDM en OptiSystem

Se tiene diferentes aplicaciones DWDM en OptiSystem.

- Redes ópticas de largo alcance en topología punto a punto o en anillo.
- Ampliación de la capacidad de una red óptica existente.
- Arrendamiento de capacidad para mayoristas de redes.

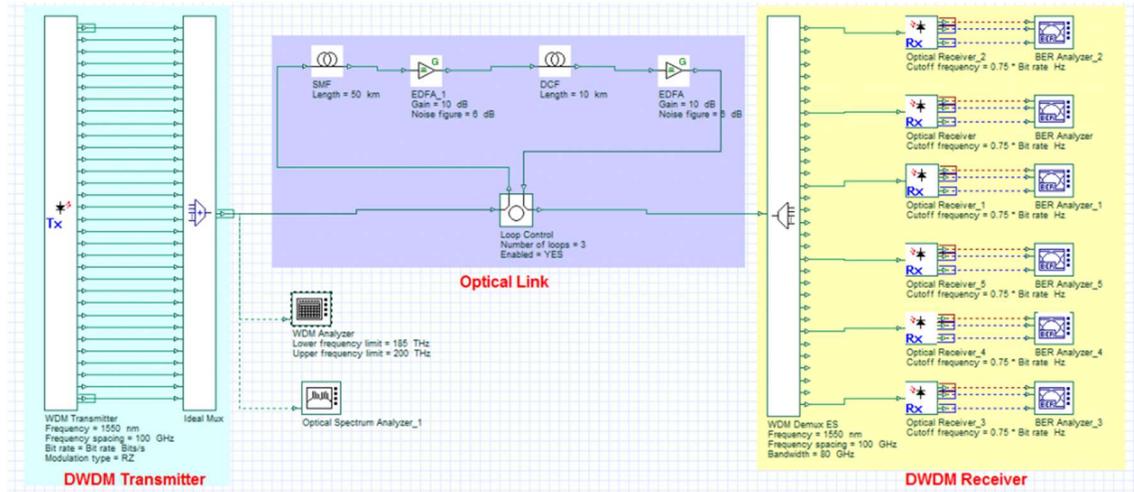


Figura 2.15 DWDM OptiSystem
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.11.12. Beneficios DWDM OptiSystem

- El nuevo conjunto de pruebas BER permite la simulación de millones de bits para el recuento directo de errores.
- El escaneo de múltiples parámetros permite a los diseñadores de sistemas estudiar las compensaciones con respecto a los parámetros de interés y elegir un diseño óptimo para las implementaciones.
- FEC
- Permite a los usuarios analizar diferentes algoritmos para la ecualización electrónica.
- Interfaces con herramientas de diseño populares.
- Reduce significativamente los costos de desarrollo de productos y aumenta la productividad a través de un entorno de diseño integral para ayudar a planificar, probar y simular enlaces ópticos en la capa de transmisión de las redes ópticas modernas.

2.11.13. Descripción de la simulación

En el diseño anterior, hemos simulado una red DWDM de 32 canales con formatos de modulación RZ y NRZ a 40 Gbps. La sección del transmisor consta de un transmisor y multiplexor WDM de 32 canales; el espaciado de frecuencia es de 100 GHz. Hemos utilizado un bucle de transmisión como enlace óptico con una longitud de 50 km de SMF, 10 km de DCF y dos EDFA. El receptor es un demultiplexor WDM de 32 canales, con fotodetectores PIN y testers BER.

A continuación, se muestran las imágenes del espectro de señal obtenido para los formatos de modulación RZ y NRZ. También es posible utilizar otros formatos como el retorno a cero con supresión de portadora (CSRZ), el retorno a cero duobinario (DRZ) y el retorno a cero duobinario modificado (MDRZ).

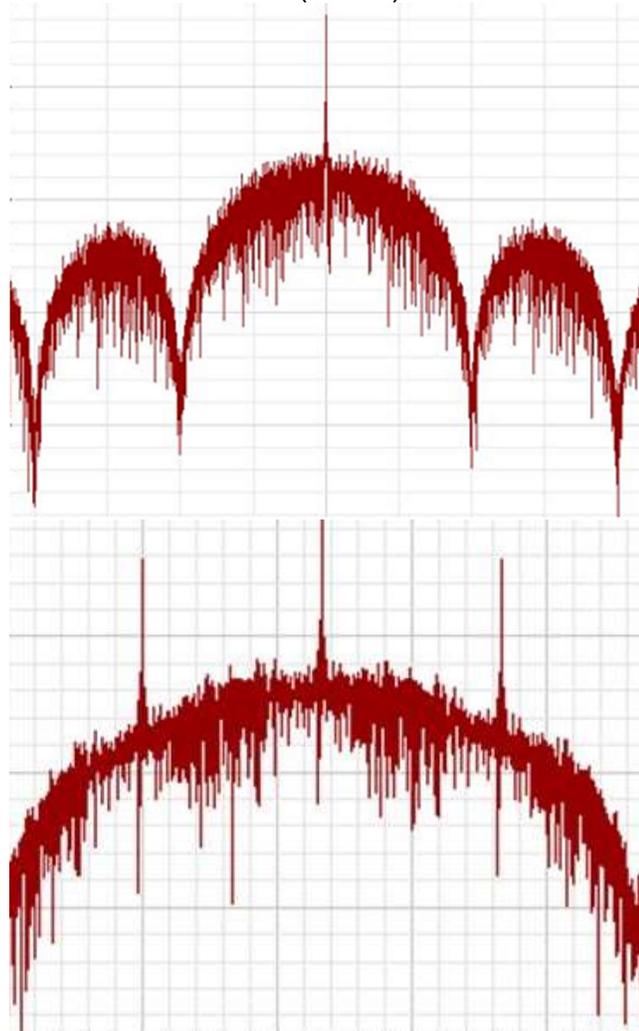


Figura 2.16 Simulación DWDM
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

Con OptiSystem, se puede modificar fácilmente diferentes parámetros de la simulación, como el número de tramos de fibra óptica, lo que le permitirá probar la solidez del sistema en la longitud de propagación.

Los siguientes diagramas de dos ojos muestran la señal recibida para un solo canal para los formatos de modulación RZ y NRZ después de 180 km de propagación.

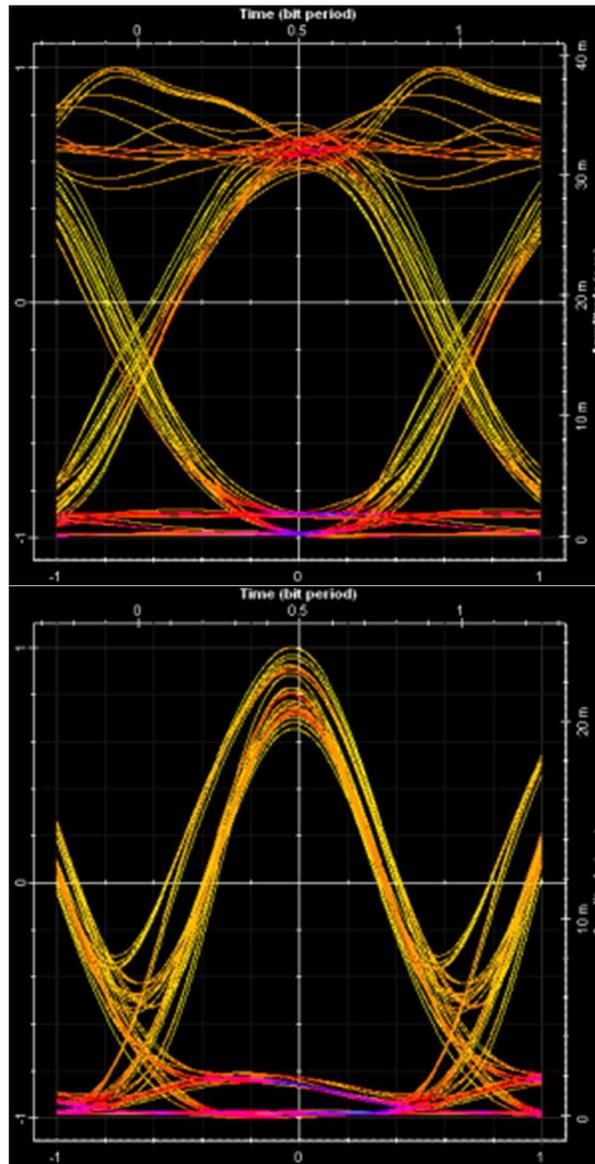


Figura 2.17 Diagramas de OJO
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

Además, utilizando el analizador WDM podemos ver información crítica sobre cada canal, como la potencia de la señal, la potencia del ruido y OSNR.

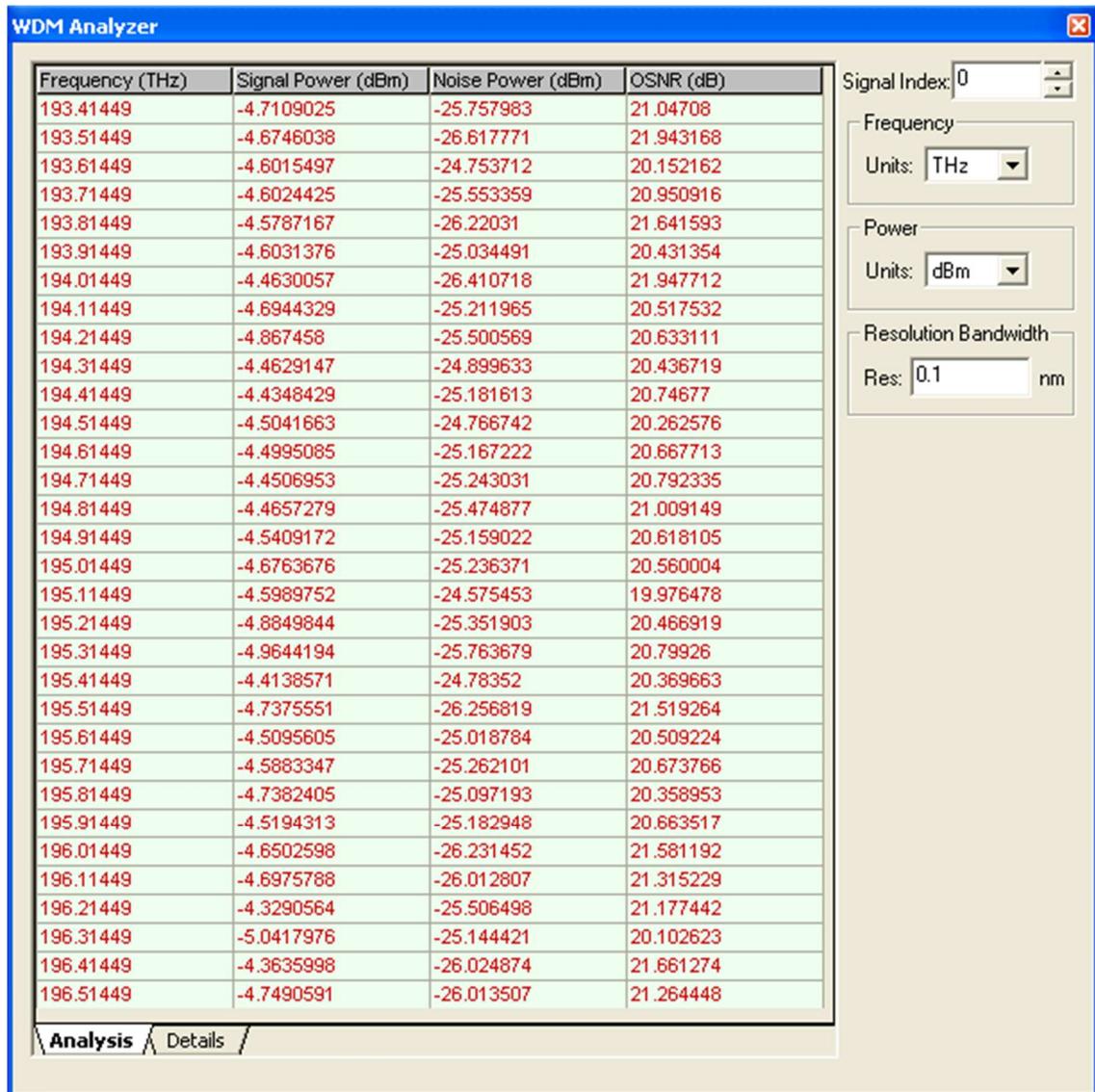


Figura 2.18 Potencia de canal DWDM
Fuente: (Optiwave.com, 2021)

2.12. Solución híbrida CWDM/DWDM

El DWDM Mux Demux se utiliza normalmente para transmisiones a larga distancia en las que las longitudes de onda están agrupadas e integradas en la banda C, hasta 48 longitudes de onda en una malla de 100GHz (0,8nm) y 96 longitudes de onda en una malla de 50GHz (0,4nm). Es un protocolo transparente y se adapta a aplicaciones como Ethernet 10/1G, SDH/SONET, canal de fibra 16/8/4/2/1G, FTTx y CATV. (Fs.com, 2021)



Figura 2.19 CWDM/DWDM
Fuente: (Fs.com, 2021)

2.12.1. DWDM híbrido sobre red CWDM

Las longitudes de onda CWDM van de 1260 a 1625nm y su espaciado entre canales es de 20nm, lo que cubre todo el rango de longitudes de onda DWDM (1470-1625nm) que cuentan con espaciados de canal mucho más pequeños (0,4nm/0,8nm). Por lo tanto, las longitudes de onda CWDM cercanas a las de DWDM pueden ser usadas para transmitir las longitudes de onda DWDM.

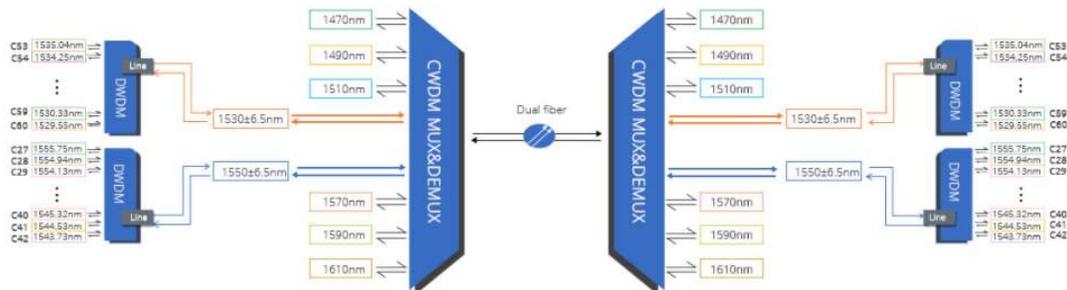


Figura 2.20 Red CWDM
Fuente: (Fs.com, 2021)



Figura 2.22 Transceptores DWDM
Fuente: (Fs.com, 2021)

2.12.2. Descripción de medidas del equipo DWDM

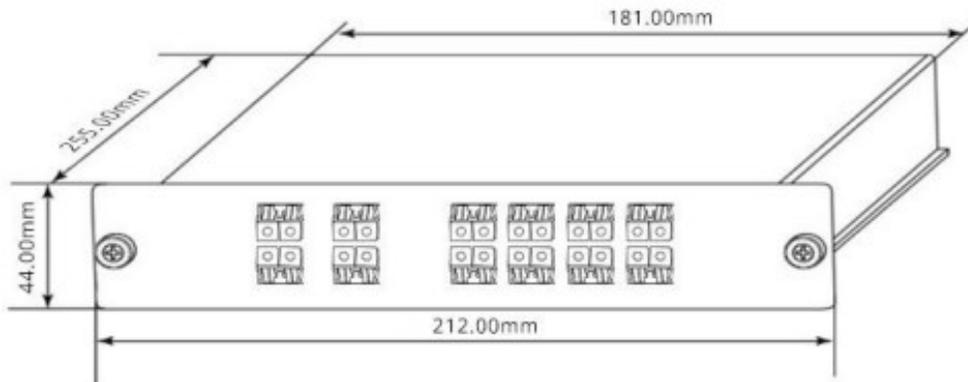


Figura 2.23 Medidas del equipo
Fuente: (Fs.com, 2021)

2.13. Analizador de espectros ópticos Yokogawa AQ6370D

Analizador de espectros ópticos es la medición de potencia óptica como una función de la longitud de onda. Las aplicaciones incluyen pruebas de láser y fuentes de luz LED para la pureza espectral y distribución de energía, así como las características de transmisión de prueba de dispositivos ópticos.

El ancho espectral de una fuente de luz es un parámetro importante en sistemas de comunicación de fibra óptica debido a la dispersión cromática, que se produce en la fibra y limita el ancho de banda de la modulación del sistema. Análisis de Espectro Óptico.

El efecto de la dispersión cromática se puede ver en el dominio del tiempo como un ensanchamiento del pulso digital. Es función del ancho espectral de la fuente de luz.

Se requieren anchos espectrales pequeños para sistemas de comunicación de alta velocidad. (Yokogawa, 2019)

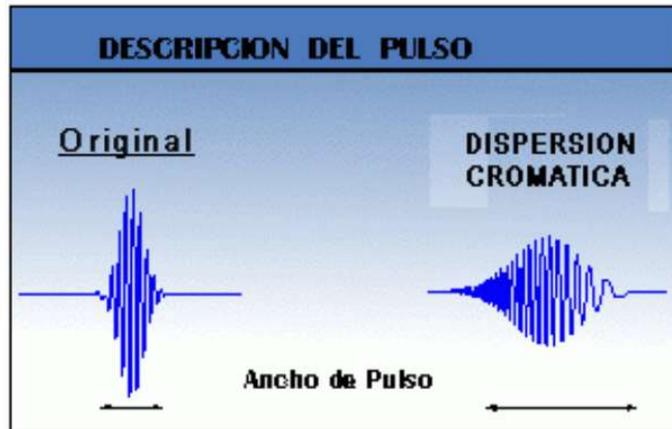


Figura 2.24 Yokogawa AQ6370D
Fuente: (Yokogawa, 2019)

El láser no es puramente monocromático; consiste en una serie de líneas espectrales coherentes espaciadas uniformemente con un perfil de amplitud determinado por las características de ganancia asociadas.

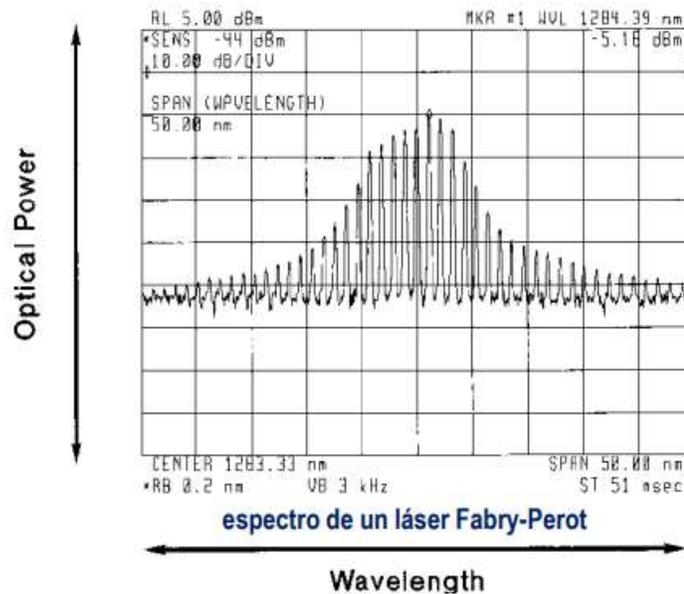


Figura 2.25 Espectro de un láser Fabry-Perot
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Los OSA (Optical spectrum analyzers) se pueden dividir en 3 categorías:

1. Basados en la granularidad de la difracción: **Diffraction-grating**: Capaces de medir el espectro de láseres y LEDs. Con resoluciones variables en el rango de 0,1 nm, 5 o 10 nm.
2. Arquitecturas basadas en **Interferómetros Fabry-Perot**: Tienen una resolución fija y estrecha, típicamente en frecuencias entre 100 MHz y 10 GHz. Esta pequeña resolución permite la medición de chirp láser, ya que pueden limitar su span de medición.
3. Arquitecturas basadas en **Interferómetros Michelson**: Utilizados para mediciones directas de longitud de onda coherente, se ve el espectro mediante el cálculo de la transformada de Fourier de un patrón de interferencia medido

2.13.1. Analizador de espectro óptico basado en rejilla de difracción

Los OSAs más comunes utilizan monocromadores como filtro óptico sintonizable.

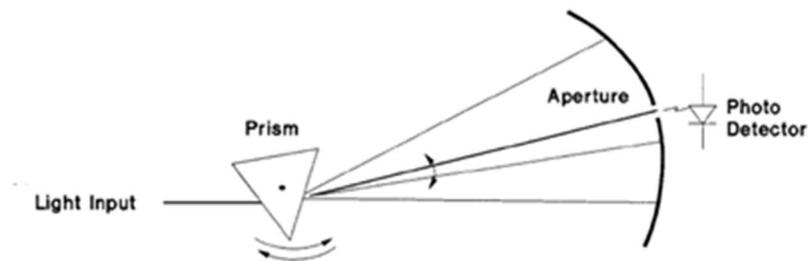


Figura 2.26 OSAs
Fuente: (Yokogawa, 2019)

En el monocromador, una rejilla de difracción (espejo con líneas onduladas finamente espaciados en la superficie) separa las diferentes longitudes de onda de la luz (λ). El resultado es similar al que se logra con un prisma (figura).

El prisma **separa las diferentes lambdas**, y **sólo aquella λ que pasa a través de la abertura alcanza el fotodetector**.

El ángulo del prisma determina la λ a la que se sintoniza el OSA, y
El tamaño de la abertura determina la resolución de la longitud de onda.

2.13.2. OSA basada en Interferómetro Fabry-Perot:

Consta de dos espejos paralelos muy reflectantes, actúan como cavidad resonante que filtra la luz entrante. La resolución depende del coeficiente de reflexión de los espejos y de su espaciamento, típicamente fijo. La λ se varía cambiando la separación entre los espejos en pasos muy pequeños.

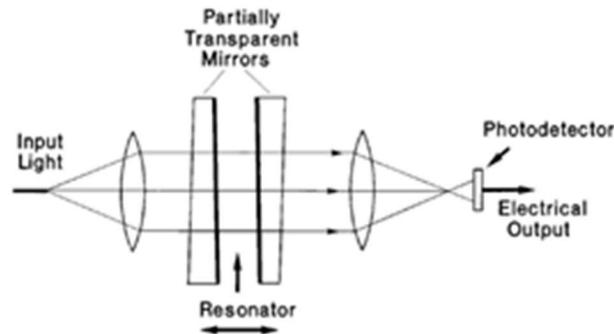


Figura 2.27 OSA basado en Interferómetros Fabry-Perot
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Ventaja: resolución espectral muy estrecha, la cual le permite medir chirp láser.

Mayor Desventaja: en cualquier posición se pasarán por el filtro múltiples λ . (La separación entre λ s se llama el rango espectral libre). Se puede resolver con un monocromador en cascada con el interferómetro Fabry-Perot para filtrar toda la alimentación fuera del rango espectral libre del interferómetro sobre la λ de interés.

2.13.3. OSA basada en 2

Principio: creación de un patrón de interferencia entre la señal y una versión retardada de sí misma.

La potencia de este patrón de interferencia se mide para un rango de valores de retardo.

La forma de onda resultante es la función de auto-correlación de la señal de entrada. Para mediciones directas de longitud de coherencia, y λ s muy precisas. No se produce un filtrado real y no se puede setear con $\text{span} = 0$ nm, por eso no permite visualizar la potencia de una λ dada en función del tiempo. Tiene menor rango dinámico que los OSA basados en Diffraction-grating.

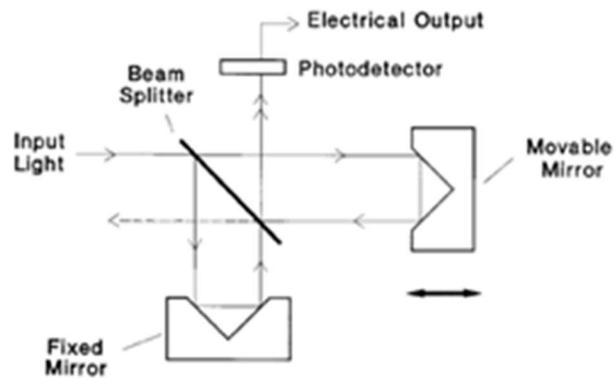


Figura 2.28. Interferómetro Michelson
Fuente: (Yokogawa, 2019)

2.14. AQ6370D (600 to 1700 nm)

Ideal para caracterización y prueba de componentes ópticos y sistemas usados en telecomunicaciones.

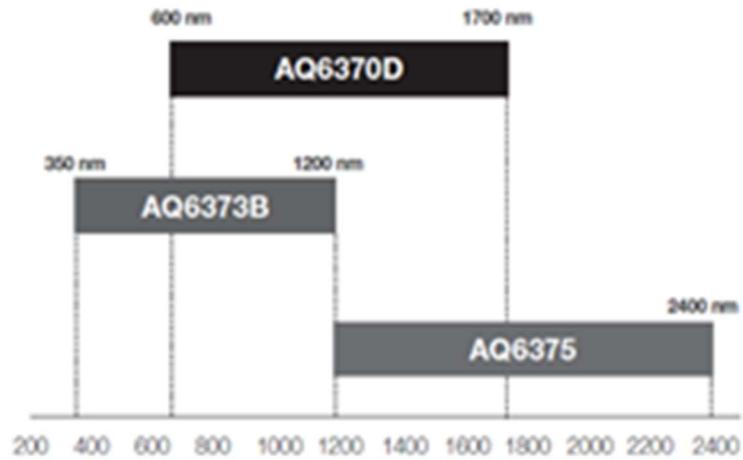


Figura 2.29 AQ6370D (600 to 1700 nm)
Fuente: (Yokogawa, 2019)

AQ6370D

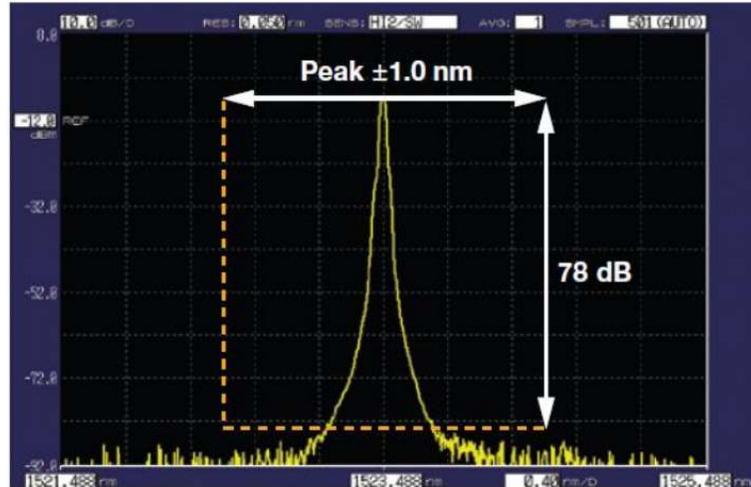


Figura 2.30. Peak ± 1.0 nm, resolución en pasos de 0.05 nm, con modo dinámico.
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Alta resolución (hasta 20 pm) y mayor rango dinámico (hasta 78 dB). El monocromador avanzado permite la detección de señales espectrales que están en estrecha proximidad y que se distinguen y midan con precisión.

AQ6370D



Figura 2.31. Mayor sensibilidad (hasta -90 dBm).
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Las señales ópticas de baja potencia pueden medirse con precisión y rapidez, sin necesidad de promediar muchas mediciones. Al activar el modo de alta dinámica, el OSA maximiza su rendimiento de rango dinámico eliminando la luz parásita (factor perturbador para el fotodetector causada por la fuerte señal de entrada que aumenta el ruido de fondo).

2.14.1. Fuente de calibración incorporada

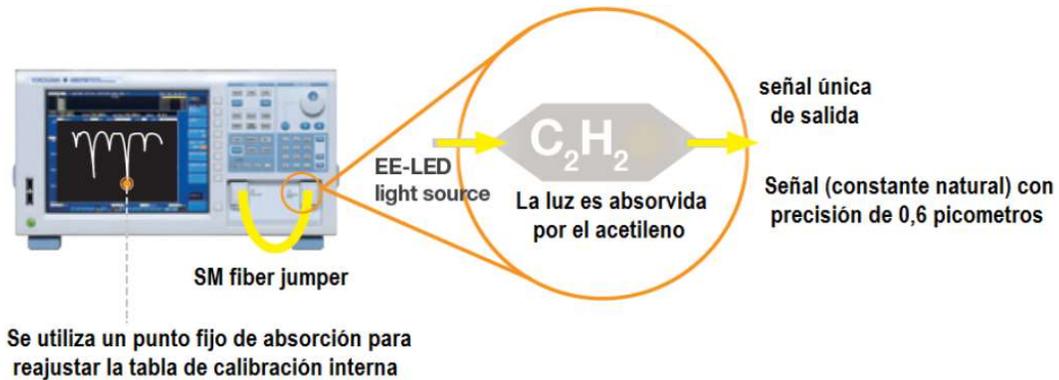


Figura 2.32 Calibración incorporada
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Cambios de temperatura ambiente, vibraciones y golpes afectan la precisión de los equipos de alto desempeño como los OSAs. El AQ6370D incorpora una fuente de luz para la calibración. **La calibración es automática**, toma sólo 2 minutos. Incluye:

La función de **alineación óptica**, que alinea automáticamente la trayectoria óptica en el monocromador para asegurar **la exactitud de nivel**;

La función de **longitud de onda de calibración**, que calibra automáticamente el analizador de espectro con la fuente de referencia para garantizar **la exactitud de longitud de onda**.

2.14.2. Desempeño del OSA AQ6370D

El rendimiento del OSA se determina con los **4 parámetros** siguientes:

1. **Sensibilidad de Potencia:** en 7 niveles de sensibilidad
2. **Resolución Espectral:** hasta 7 valores de resolución de longitudes de onda, para cualquier span, incluido span = 0 nm.
3. **Velocidad Medición:** cualquier número de mediciones (promediación, 1 a 999); cualquier número de puntos de muestreo (de 101 a 50001), con un intervalo de muestreo de 1 pm.
4. **Rango Dinámico** en pequeño ancho espectral (close-in).

El AQ6370 permite sintonizar sus elementos para configurar estos parámetros y lograr el mejor desempeño, de acuerdo con la aplicación específica ó DUT.

Con una combinación adecuada de los parámetros puede optimizarse el OSA para que sea más rápido o sensible o con una resolución muy alta.

2.14.3. Sistemas de pruebas automatizadas

Con un monocromador (state-of-the-art), circuitos de ganancia rápida y técnicas avanzadas de reducción de ruido, el AQ6370 alcanza una velocidad de escaneado increíblemente rápida incluso cuando la medición se hace con señales de baja potencia.

Gracias a la función “Macro Programming Function”, incorporada, se pueden realizar mediciones automáticas y controlar un equipo externo a través de sus interfaces remotas.

Para controlar remotamente el instrumento por un PC, y transferir los comandos SCPI compatibles, tiene interfaces RS-232, Ethernet y GP-IB. También puede controlarse con software de instrumentos como LabVIEW®.

2.14.4. El AQ6370 Viewer

Control remoto en tiempo real: Con el software AQ6370 Viewer, se reproduce en la PC la pantalla del instrumento, y se puede:

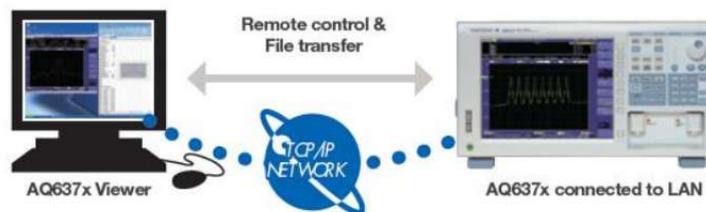


Figura 2.32. Software AQ6370
Fuente: (Yokogawa, 2019)

- Controlar de forma remota y operar el instrumento;
- Visualizar, analizar y transferir los datos adquiridos por el instrumento en el PC remoto. El AQ6370 Viewer permite:
- Gestión: comandar el instrumento y recoger los resultados de la medición en la oficina sin tener que ir físicamente a la línea de producción real o laboratorio.
- Labores de servicio: ayudar a terceros, remotamente, a configurar el instrumento de la manera adecuada, afinarlo en el equipo / sistema que requieren probar.

2.14.5. Características que facilitan su uso

2.14.5.1.Trace zooming

- Cambiar condiciones de visualización, como: λ central y span, haciendo clic y arrastrando el mouse.
- Ampliar el área de interés y moverla a voluntad.
- No se necesita otra medición que modifique las condiciones de visualización.

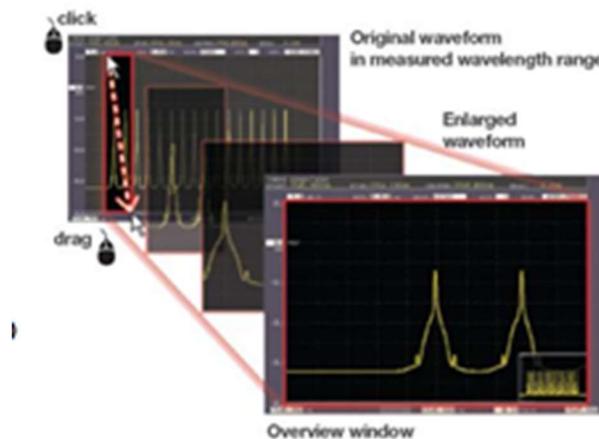


Figura 2.34 Trace zooming
Fuente: (Yokogawa, 2019)

2.14.5.2.Cálculo de trazas y análisis

Siete trazas individuales

- Pantalla multi-trace simultánea;
- Cálculo entre trazas (resta entre trazas);
- Función de Max / Min Hold



Figura 2.35 Trazas y análisis
Fuente: (Yokogawa, 2019)

2.14.5.3. Puertos USB

4 puertos USB en total facilitan el uso de dispositivos externos, como mouse, teclado, discos duros externos y tarjetas de memoria.



Figura 2.36 Puertos USB
Fuente: (Yokogawa, 2019)

Thumbnail Vista previa, crea una ruta fácil y rápida para encontrar un archivo particular, de muchos archivos en el almacenamiento interno y externo.

Todas las trazas a la vez, ahorro de tiempo, permite guardar todas las siete trazas en un archivo a la vez. Los archivos se guardan en formato CSV y pueden ser manipulados con un software de PC.

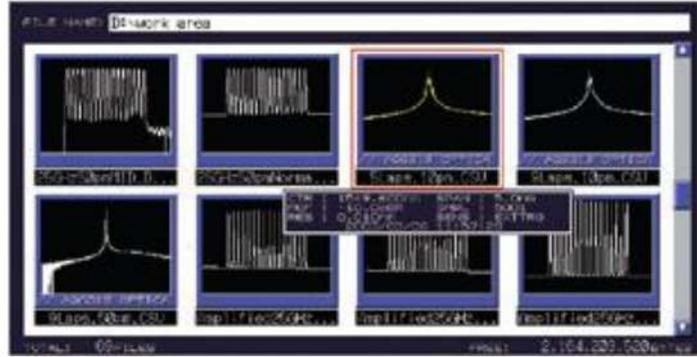


Figura 2.37. Software de PC
Fuente: (Yokogawa, 2019)

2.14.6. Panel frontal AQ6370D

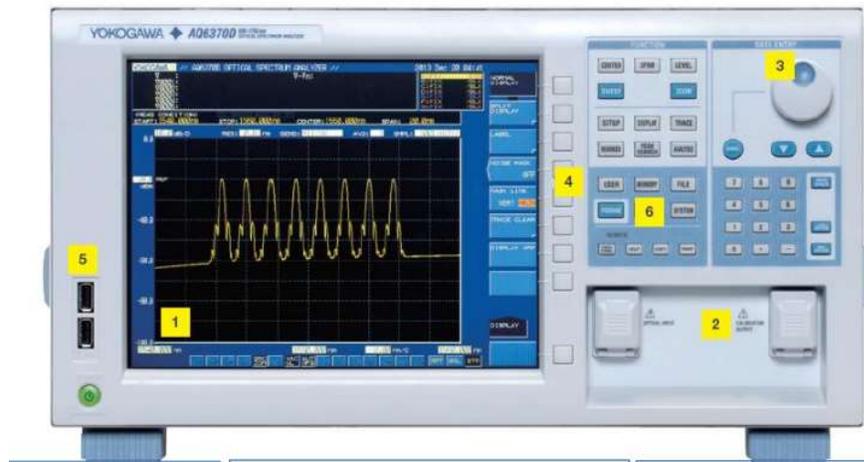


Figura 2.38. Panel frontal AQ6370D
Fuente: (Yokogawa, 2019)

1 - Display (alta resolución) LCD 10.4" SVGA para trazas y valores numéricos. Botones de pantalla facilitan setear el equipo usando el mouse.

2 - Interfaces Ópticas con conectores universales. Pueden reemplazarse.

3 - botón giratorio Mando multifuncional, ajuste de los parámetros.

4 - Botones USER. Registro de teclas de funciones más frecuentes en pocos pasos.

5 - 2 puertos USB.

6 - Botón para MacroProgramming.

2.14.7. Panel posterior AQ6370D

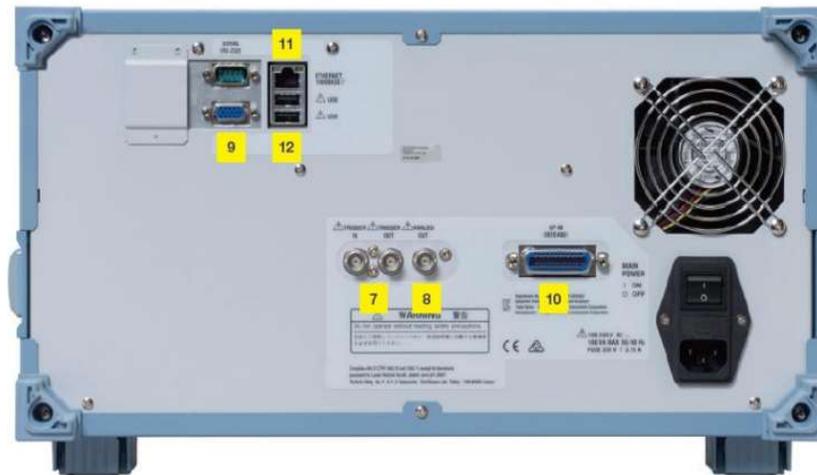


Figura 2.39 Panel posterior AQ6370D
Fuente: (Yokogawa, 2019)

7 – Trigger IN/Trigger OUT Medición de Pulsos de Luz.

8 – Analog OUT: tensión para prueba de estabilidad

9 – Serial (RS-232) y Video OUT (SVGA).

10 – GP-IB (IEEE 488.1/488.2)

11 – Ethernet

12 – 2 USB

2.15. C-Band Booster Optical Amplifier (BOA1004P)

BOA1004P es un Amplificador óptico de refuerzo que tiene una potencia de salida de alta saturación, alto ancho de banda, mantenimiento de polarización.

Incorpora un pozo cuántico QW (Quantum Well) de InP/ InGaAsP altamente eficiente con estructura de capas y un diseño de guía de ondas confiable.

Está alojado en un estándar de 14 pines. Paquete de mariposa con un refrigerador termoelectrico integrado (TEC) y termistor.

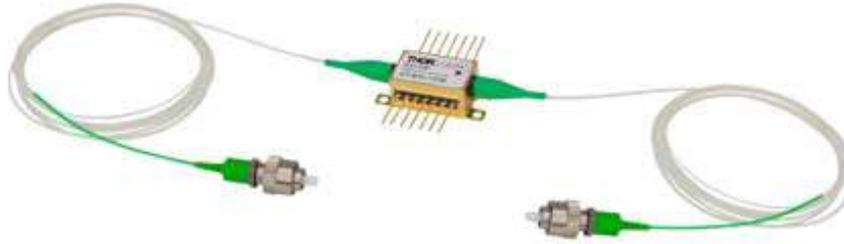


Figura 2.40 PM Fiber (Polarization Mode)
Fuente: (Thorlabs.com, 2021a)

2.15.1. Especificaciones BOA1004P

TCHIP = 25 °C, TCASE = 0 – 70 °C

Tabla 2.1 BOA1004P

BOA1004P				
	Symbol	Min	Typical	Max
Operating Current	I_{OP}	-	600 mA	750 mA
Center Wavelength	λ_C	1530 nm	1550 nm	1570 nm
ASE Optical 3 dB Bandwidth	BW	80 nm	85 nm	-
Saturation Output Power @ -3 dB	P_{SAT}	13 dBm	15 dBm	-
Small Signal Gain @ $P_{IN} = -20$ dBm, $\lambda = 1550$ nm	G	23 dB	27 dB	-
Gain Ripple (RMS) @ I_{op}	δG	-	0.05 dB	0.2 dB
Polarization Extinction Ratio	PER	-	18 dB	-
Noise Figure	NF	-	7.5 dB	9 dB
Forward Voltage	V_F	-	1.3 V	1.6 V
TEC Operation (Typical / Max @ $T_{CASE} = 25$ °C / 70 °C)				
-TEC Current	I_{TEC}	-	0.13 A	1.5 A
-TEC Voltage	V_{TEC}	-	0.28 V	4.0 V
-Thermistor Resistance	R_{TH}	-	10 k Ω	-

Fuente: (Thorlabs.com, 2021a)

2.15.2. Curvas de Desempeño BOA1004P

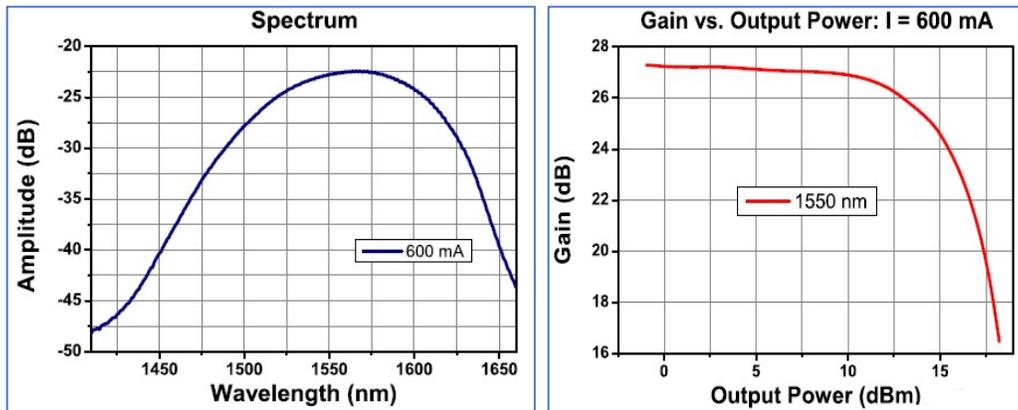


Figura 2.41 Curvas de Desempeño BOA1004P
Fuente: (Thorlabs.com, 2021a)

2.16. Compact Laser Diode Controller CLD1015



Figura 2.42 Compact Laser Diode Controller CLD1015
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.1. Información general

Controlador de temperatura y diodo láser compacto con interfase USB 2.0 para control de diodos láser de hasta 1,5 A (CLD1015) de corriente del láser. En paquete de mariposa (butterfly).

Aspectos más destacados de los controladores de temperatura y diodo láser compacto CLD1015 son:

- CLD1015 opera con *Distributed Feedback Laser* DFB tipo 1 (láser de bomba) y tipo 2 (láser DFB)
- El diodo láser se puede operar en corriente constante y en modo de potencia constante.
- Modo CW con modulación hasta 250 kHz.
- Enclavamiento para apagado automático por interruptor de emergencia o interrupción del cable.
- Controlador de temperatura con excelente estabilidad de térmica.
- Ventana de temperatura para protección láser.
- Variedad de características de protección protegen el diodo láser y el elemento TEC de daños.
- Panel táctil para una fácil operación.
- Interfase USB para operación remota compatible con protocolo USB-TMC.
- Conjunto de comandos compatible con SCPI control de instrumentos
- VXI pnp para diversos entornos de programación, incluyendo NI-LabVIEW™, NI-LabWindows™ / CVI y MS-Visual Studio.

2.16.2. Seguridad - Atención

Todas las declaraciones sobre seguridad de operación y datos técnicos que constan en el manual de instrucciones, solo se aplicarán cuando la unidad funcione correctamente como fue diseñada.

Antes de aplicar energía al CLD1015:

- Asegurarse de que el cable de alimentación está conectado correctamente a tierra de protección ¡Contacto de la toma de corriente! Una conexión a tierra inadecuada puede provocar descargas eléctricas ¡Con daños a la salud o incluso la muerte!
- El CLD1015 no debe utilizarse en entornos en peligro de explosión.
- ¡No quitar las tapas!
- ¡No obstruir las ranuras de ventilación de aire en la carcasa!
- ¡Enviar a servicio técnico con personal calificado!
- Solo con el consentimiento por escrito de Thorlabs se pueden hacer cambios a componentes individuales. O para utilizar componentes no suministrados por Thorlabs.
- Este dispositivo de precisión solo se puede reparar si se embala completo y correctamente en el embalaje original. Si es necesario, solicitar un paquete de reemplazo antes de la devolución.
- Seguir las recomendaciones comunes para el manejo de dispositivos sensibles a ESD cuando se instala un diodo láser en el CLD1015.

La **emisión láser es peligrosa para el ojo humano**. No mire a la abertura emisora, use gafas protectoras y observe las instrucciones de seguridad suministradas con el diodo láser.

El **CLD1015**, a menos que se especifique lo contrario en el manual, ha sido probado y cumple con los límites para dispositivo digital Clase A, con la parte 15 de las Reglas de FCC. Límites diseñados para una protección razonable contra interferencias en entorno comercial.

Genera, utiliza y puede emitir energía de RF y, si no se instala y utiliza de acuerdo con el manual, puede causar interferencias en comunicaciones de radio.

Thorlabs no es responsable de las interferencias de radio y televisión causadas por modificaciones de este equipo o la sustitución o conexión de cables y equipos de conexión distintos a los especificados por Thorlabs. La corrección de la interferencia causada por modificación no autorizada, sustitución o almacenamiento es responsabilidad del usuario.

Se deben usar cables de blindados al conectar este equipo a todos los dispositivos periféricos o host. No utilizar teléfonos móviles, celulares o transmisores de radio en el rango de 3 m ya que la intensidad del campo EM puede exceder los valores máximos de perturbación permitidos según EN 61326-1.

Este producto ha sido probado y cumple con los límites de la norma EN 61326- 1 para usar cables de conexión de menos de 3 metros (9.8 pies).

2.16.3. Elementos de Operación

El controlador láser compacto CLD101x tiene un panel frontal LCD sensible al tacto. Los controles son intuitivos.

1. Interruptor de encendido
2. Interfase USB 2.0
3. Entradas de alimentación CC
4. Entrada de modulación (SMA)
5. Conector de enclavamiento
6. Ranuras de ventilación
7. Llave de bloqueo
8. Toma de tierra



Figura 2.43 Panel posterior
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.4. Características de seguridad y protección

CLD1015 incorpora seguridad y protección para prevenir daños al diodo láser y proteger al usuario:

Key lock switch: interruptor de teclas desactiva la salida de corriente del láser. Cumple requisitos de CDRH (Centro para dispositivos y salud radiológica) y evita el uso no autorizado del controlador láser.

Interlock: proporciona varias funciones de protección simultáneamente.

- Cierre de seguridad para evitar el uso involuntario.
- Se puede conectar un interruptor de emergencia externo.
- Para conectar equipo externo de protección automática, por ej. monitoreo de temperatura.

El láser solo se puede operar con interlock de entrada activada. Ver manual sección Protección láser.

Softstart: La función de soft start protege el diodo láser contra picos no deseados durante el proceso de encendido del láser.

Laser current limit (hardware limit): La corriente máxima del láser se puede ajustar por el límite de corriente del láser, que se configura en el menú del controlador láser.

Open circuit detection para el diodo láser: Al interrumpirse la conexión con el láser, aún durante un corto tiempo durante la operación, se produce un apagado de emergencia inmediato.

Electronic short-circuit switch para el diodo láser: Con la salida del controlador desconectada, un interruptor electrónico cortocircuitará el diodo láser y no se aplicará voltaje a los contactos del láser.

2.16.5. Características de seguridad y protección

Ventana de protección de temperatura para el diodo láser: Protege al diodo láser de temperaturas de operación no deseadas, en combinación con el controlador **TEC** integrado (**Thermo Electric Cooler**): al definir una ventana de temperatura alrededor del punto de ajuste de temperatura del láser, éste puede pausarse o apagarse permanentemente, si temperatura real está fuera de la ventana. Consultar secciones: configuración del TEC y protección láser.

Protección Over-temperature: El CLD1015 tiene una protección automática de sobrecalentamiento. Si se supera la temperatura interna de operación permitida, las salidas se desconectarán. Después de una caída de temperatura de aproximadamente 10 ° C, las salidas del CLD1015 se pueden encender nuevamente.

Estados definidos luego del encendido: Al encender el CLD1015 con el interruptor principal, el láser y la salida TEC están predeterminados en apagado. La configuración permite activar la salida LD y / o TEC al iniciar el dispositivo.

2.16.6. Monitoreo de falla de línea

En caso de falla de línea / interrupción de línea, el CLD1015 se reiniciará nuevamente como si se hubiera encendido con la configuración de encendido predeterminada.

1. Comprobar si un jumper de interlock o un switch de emergencia está instalado en el conector I-LOCK, ver sección Interlock para más información.
2. Insertar la llave en cerradura. Para operación normal, girar llave en sentido horario, habilita salida de corriente del láser. En esta posición, la llave no se puede quitar.
3. Conectar la fuente de alimentación a la entrada de CC y encender el CLD1015.
4. El CLD1015 se enciende y aparece la pantalla de inicio en ~ 3 segundos. Muestra información básica. Durante el proceso de arranque, se llevan a cabo una variedad de autopruebas de hardware y software. Si una de estas pruebas falló, se mostrará mensaje de error apropiado en pantalla. Considerar este mensaje de error y contactar al Soporte Técnico de Thorlabs.
5. Luego muestra el panel de operación estándar ("INICIO"). Si la salida de corriente láser está bloqueada **KEYLOCK** se enciende, si el bloqueo está abierto **INTERLOCK**

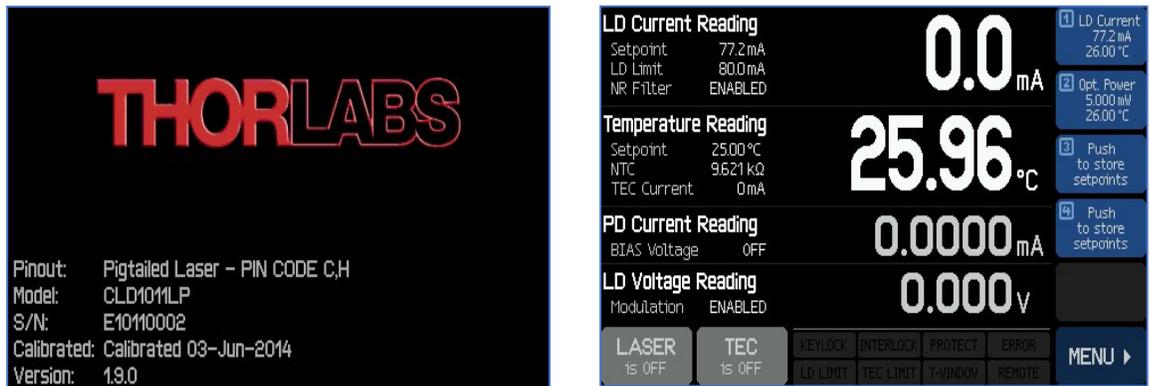


Figura 2.44 CLD1015
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.7. Instrucciones de operación

Antes de encender el TEC y la salida del láser, configure el CLD1015 de acuerdo con las especificaciones del diodo láser.

Las siguientes secciones explican estas configuraciones en detalle. Todos los menús de configuración están disponibles a través del botón **MENU ▶** en la esquina inferior derecha del panel:

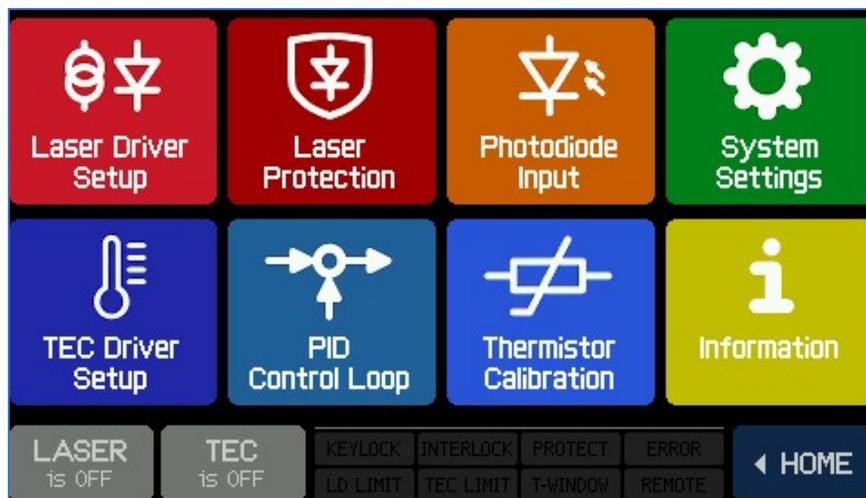


Figura 2.45 Panel estándar de Operación
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Operaciones generales: Barra de menú

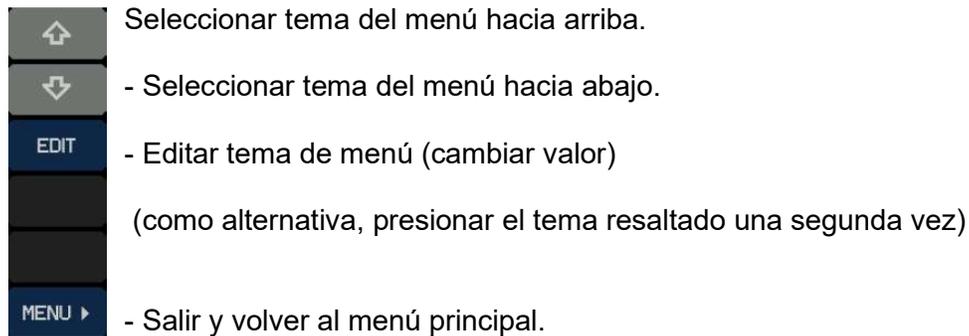


Figura 2.46 Barra de menú
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Editar: barra lateral

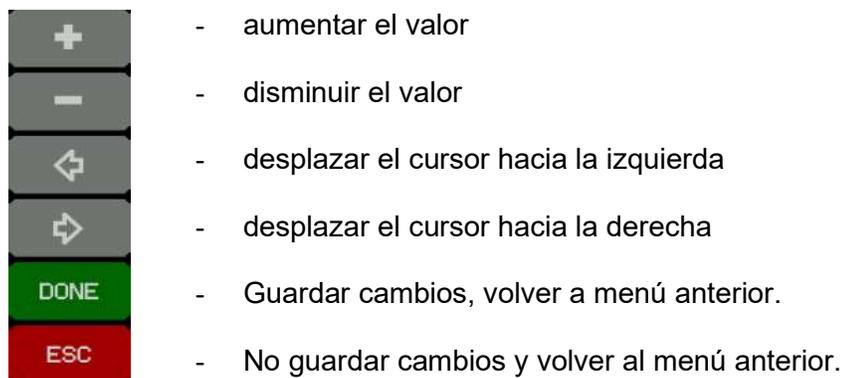


Figura 2.47 Barra de lateral
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Operación a través del panel táctil (touch panel) es simple e intuitiva. En el centro de la pantalla se muestran las lecturas reales. Los parámetros principales se ven en caracteres grandes, brindando una buena visibilidad incluso desde cierta distancia. La apariencia depende del modo de operación del láser seleccionado: CC (Constant Current) o CP (Constant Power).

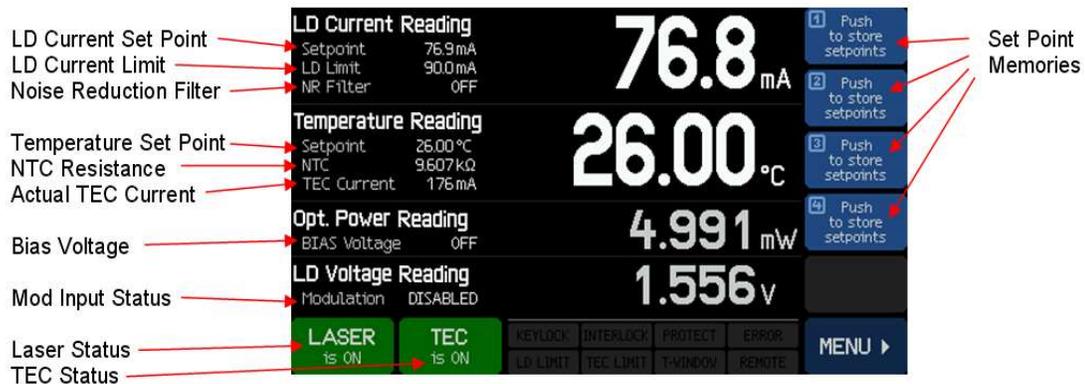


Figura 2.48 Panel principal de operación (HOME) en modo CC
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

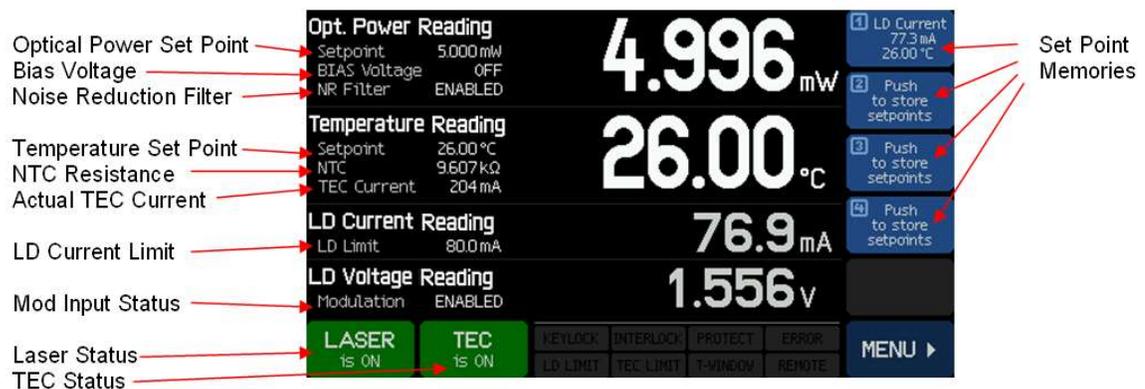


Figura 2.49 Panel principal de operación (HOME) en modo CP
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Los puntos de ajuste se pueden cambiar fácilmente:

Tocar el parámetro o valor deseado y la pantalla cambia de lectura a valores de punto de ajuste.

Modificar el punto de ajuste como se describe en Operaciones Generales, a continuación, guardar la configuración (botón DONE).

ESC devuelve la pantalla a lectura de valores sin guardar cambios.

Al tocar un parámetro no editable, aparece un mensaje de advertencia apropiado en la pantalla



Figura 2.50 Panel principal de operación (HOME)
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.8. Memorias de Set Point:

Se pueden almacenar hasta 4 configuraciones (potencia óptica o corriente láser y temperatura). Simplemente tocar y mantener presionado durante 3 segundos un ícono de memoria de Set Point. Un pitido, acompañado del mensaje "Set Points stored" confirma el almacenamiento.

En caso de que la memoria no esté vacía, los datos se sobrescribirán.

Se puede recuperar un Set Point con un toque corto del icono, la configuración se carga de inmediato. Si los datos de la memoria están relacionados con un modo de operación diferente, el láser debe estar apagado antes de que el CLD1015 pueda cargar el Set Point. Si el láser está encendido, aparece un mensaje de advertencia apropiado. Las memorias de Set Point solo se pueden borrar de una vez desde el botón Borrar memorias en el panel Información.

2.16.9. Mensajes de Estado del Panel Principal

	LD current output is locked	Turn locking key (7) on the rear panel to "enable" position
	Interlock circuit is open	Close interlock circuit, e.g. by installing the jumper (5)
	Laser Protection active	Laser switched off or paused due to exceeding the given temperature window. Make sure the
		TEC controller is ON.
	Laser Current Limit reached	
	TEC Current Limit reached	May appear for a short time after switching the TEC on
	Actual temperature exceeded window .	Switch on TEC
	Device is in Remote Mode	
	An error in remote mode occurred. There are errors in the instrument's error queue. Use the 'SYSem:ERRor' SCPI command to read out the error queue.	

Laser Driver Setup:

Con los botones de flecha seleccionar un parámetro, presionar el botón EDIT, o presionar otra vez el tema seleccionado.



Límite de corriente del láser: establecer el límite de corriente para evitar daños en el diodo láser.

Modo de funcionamiento: Seleccionar el modo de corriente o potencia constantes. Más detalles, consulte el apéndice.

Filtro de reducción de ruido: para reducir el ruido de la corriente de salida en un factor de ~ 2 . Además, el ancho de banda de modulación se reduce a 7,5 kHz, consultar Especificaciones. El filtro se puede activar / desactivar solo con el switch del láser.

Habilitar entrada de modulación: al marcar esta casilla, la señal aplicada al conector SMA (4) en el panel posterior modula el láser. **Encender el láser al iniciar el dispositivo:** la configuración predeterminada es "Láser apagado" cuando se inicia el CLD1015. Si es necesario, se puede cambiar por el estado de láser encendido.

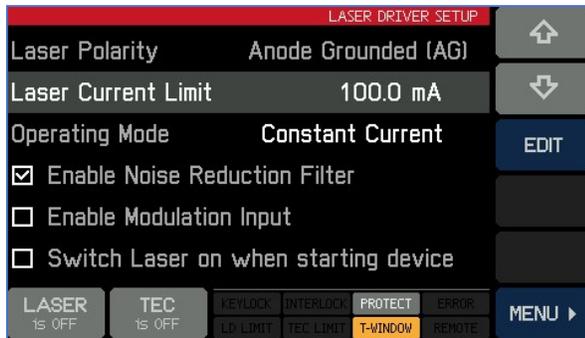


Figura 2.51 Laser Driver **Setup**
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.10. Laser Protection:



Con los botones de flecha seleccionar un parámetro, luego presionar el botón EDIT, o presionar el tema seleccionado una segunda vez.

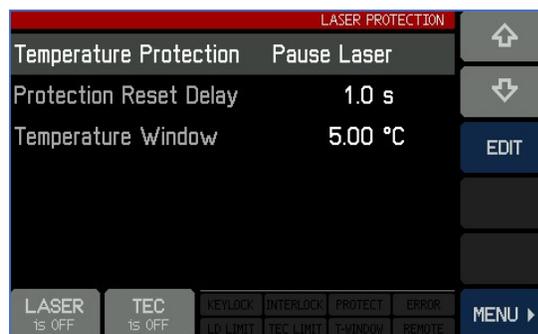


Figura 2.52 Laser Protection
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.11. Temperature protection:



Seleccionarla si la temperatura del láser supera el rango de temperatura de funcionamiento deseado ("Ventana de temperatura").

La ventana de temperatura se centra en el punto de ajuste de temperatura del láser. Acciones disponibles:

1. **None**
2. **Pause:** la corriente del láser se apaga y se vuelve a encender automáticamente cuando la temperatura vuelve a estar dentro del rango dado. El regreso a

operación del láser puede retrasarse. Adicionalmente (ver Retardo de reinicio de la protección continuación).

3. **Switch off:** la corriente del láser se apaga cuando se supera la ventana de temperatura. Una vez que la temperatura vuelve al rango permitido, se puede encender el láser sólo manualmente.

 - **Protection Reset Delay:** el retorno a operación puede ser retardado hasta por 600 segundos.
 - **Temperature Window:** Define el rango de temperatura permitido ($T_{set} \pm T_{win}/2$).

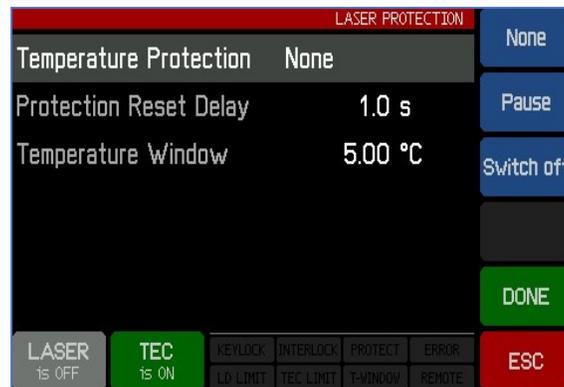


Figura 2.53 Temperature protection
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.12. Interlock

Otra característica de seguridad es el bloqueo de hardware, accesible a través del conector **I-LOCK** en el panel posterior. Por defecto, se instala un puente de cortocircuito en el conector. La interfase de interlock representa una fuente de corriente ($\sim 16\text{mA}$ cuando el láser está encendido), donde se observa la tensión a través del circuito externo.

Tan pronto como este voltaje supera un cierto umbral ($\sim 2.5\text{V}$), el circuito externo se considera "abierto" y la salida de corriente del láser se desactiva.

En lugar del puente, se puede conectar un interruptor de emergencia externo (abridor) al enclavamiento, así como un circuito externo (resistencia total <430) o mediante un

LED (ánodo al pin central, cátodo al pin externo, conectando una resistencia paralela $R = 1\text{ k}$) alertando que el láser está encendido.

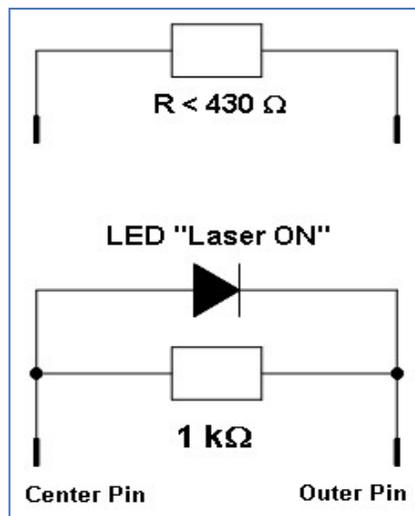


Figura 2.54 Interlock
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.13. Entrada del Photodiode PD

Usar teclas de flechas para seleccionar parámetro. Presionar EDIT, o la selección 2 veces.



Rango de Corriente de Entrada: hay 2 rangos : máx. 2mA (LOW) y máx. 20mA (HIGH). Presionar EDIT, y seleccionar el rango de medición requerido.

Photodiode BIAS: Si es necesario polarizar el fotodiodo, habilitar la tensión de polarización haciendo clic en el texto o presionando el botón EDITAR (función de alternar). Nivel de voltaje **BIAS** puede estar entre 0.1 y 6.0V, EDIT.

Entrada del Photodiode PD

Usar teclas de flechas para seleccionar parámetro. Presionar EDIT, o la selección 2 veces.

Rango de Corriente de Entrada: hay 2 rangos : máx. 2mA (LOW) y máx. 20mA (HIGH). Presionar EDIT, y seleccionar el rango de medición requerido.

Photodiode BIAS: Si es necesario polarizar el fotodiodo, habilitar la tensión de polarización haciendo clic en el texto o presionando el botón EDITAR (función de alternar).

Nivel de voltaje **BIAS** puede estar entre 0.1 y 6.0V, EDIT.

Usar Optical Power en pantalla: la corriente medida del PD, se puede convertir en potencia óptica del diodo láser. Para eso, la respuesta del fotodiodo debe ser establecida correctamente. La capacidad de respuesta del fotodiodo se puede calcular con las especificaciones (hoja de datos) del diodo láser:

El fabricante reporta: corriente de fotodiodo / potencia óptica nominal: mA / W. Una forma alternativa de determinar la respuesta del PD es medir la corriente y al mismo tiempo la potencia óptica que sale del láser, con un medidor de potencia óptica.

La respuesta del PD se puede configurar entre 0.010 y 10000,000 mA / W.

Ejemplo: se especifica 485 µA a 5,00 mW de potencia óptica. La respuesta se calcula para:

$$R = \frac{0.485mA}{0.005W} = 97mA/W$$

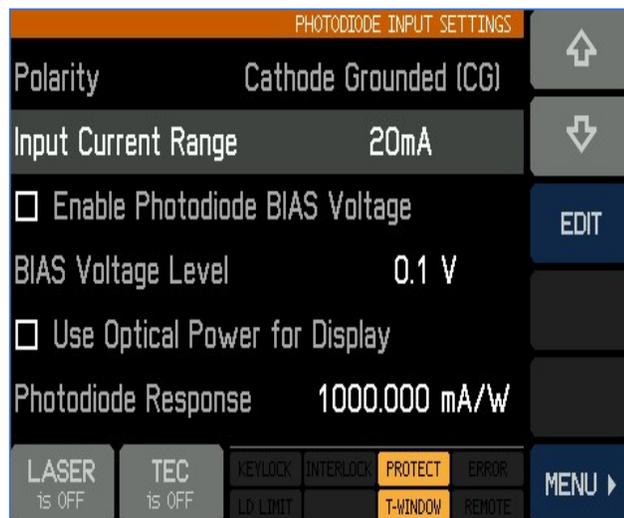


Figura 2.55 Photodiode PD
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.14. Thermo Electric Cooler - TEC Driver Setup

Teclas de flecha, seleccionar parámetro, presionar EDIT, o 2 veces el tema seleccionado.



Límite de corriente TEC: no debe exceder el máx. especificado en el diodo láser. Si el punto de ajuste de la temperatura está cerca de la ambiental, puede reducirse el límite de corriente TEC. Útil para reducir el tiempo de ajuste de la temperatura (reduce el # de rebasamientos durante el tiempo de ajuste). El límite máximo de corriente TEC del CLD1015 es de 3.0 A.

Protección del voltaje de salida: Si se interrumpe la corriente TEC (TEC abierto), el voltaje de salida excede el voltaje de cumplimiento TEC, la salida TEC se apaga (conf.

predeterminada). Lo mismo sucede si un TEC con alta resistencia se alimenta con una corriente alta; en ese caso, la protección de voltaje de salida del TEC se puede desactivar: EDIT para seleccionar entre "Switch off" y "None".

Switch TEC on when starting device: By default, the TEC is switched off. If required, the TEC can be switched on at power up. Check the appropriate box if required.

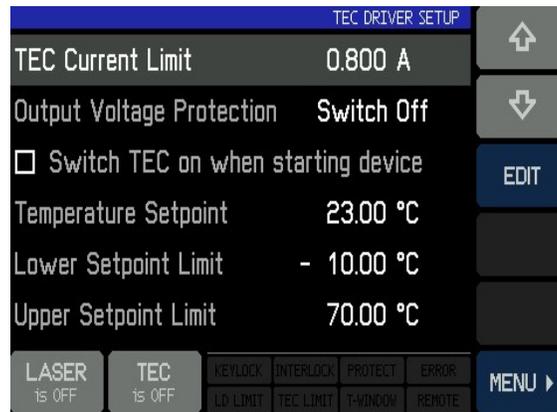


Figura 2.56 Thermo Electric Cooler
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)



Temperature Set Point: Editar este valor para establecer la temperatura objetivo en el valor deseado. En ciertos casos (diodos láser DFB), se recomienda establecer este valor en la referencia. Temperatura como se indica en el informe de prueba individual del láser.

Lower / Upper Set Point Limits: Para evitar temperaturas de operación no deseadas del láser, el intervalo del punto de ajuste puede ser limitado. Los límites absolutos dependen de los parámetros del termistor. y están dados por los límites de medición del CLD1015.

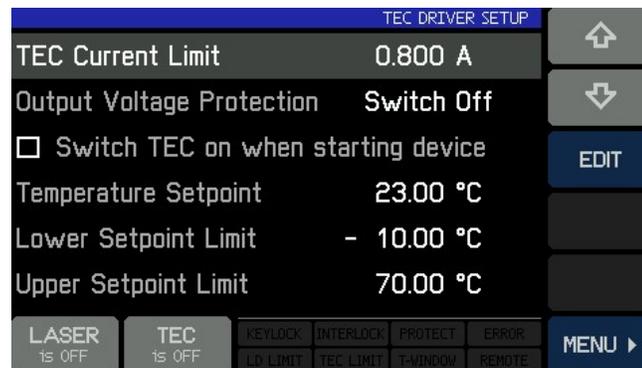


Figura 2.57 TEC Driver Setup...
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)



PID Control Loop

El controlador de temperatura en el CLD1015 utiliza un controlador **Proporcional Integral Derivativo** digital (**controlador PID**) para corregir la diferencia entre una temperatura medida y un punto de ajuste de temperatura deseado. La temperatura se puede ajustar calculando y luego emitiendo una corriente correctiva. El cálculo del controlador PID (algoritmo) implica tres parámetros separados: los valores Proporcional, Integral y Derivativo.

El **valor proporcional** determina la reacción al error de temperatura actual, el **valor integral** determina la reacción en función de la suma de los errores de temperatura recientes y el **valor derivado** determina la reacción en función de la velocidad a la que el error de temperatura ha estado cambiando.

La **suma ponderada** de estos tres términos se utiliza para **ajustar la temperatura** a través del suministro de corriente de un elemento de enfriamiento / calentamiento (Refrigerador termoelectrónico (TEC), conocido como Elemento Peltier). Al ajustar las tres constantes en el algoritmo del controlador PID, las propiedades del bucle de control pueden ser optimizado para obtener una temperatura estable máxima lo más cerca posible de la temperatura objetivo y con un tiempo de asentamiento mínimo. Cada constante (P, I, D) se puede establecer en cero para deshabilitarla. Por ejemplo, al establecer el valor de Derivado en cero, el controlador PID operará como controlador PI. Esto puede ser útil en un entorno ruidoso ya que la acción derivada es muy sensible al ruido de medición.

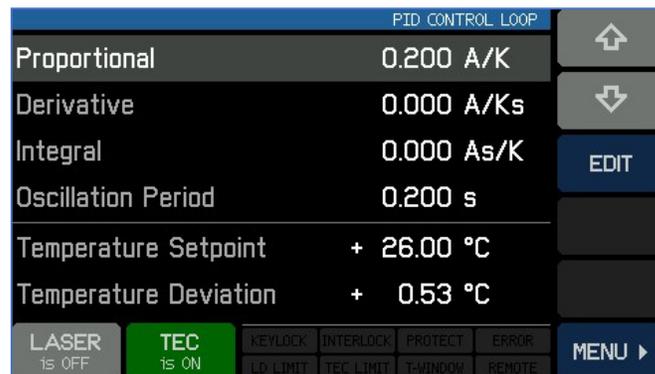


Figura 2.58 PID Control Loop
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.15. Calibración del Thermistor

CLD1015 está diseñado para usar el termistor de diodo láser incorporado como sensor de temperatura. Por tanto, se mide la resistencia y, así se puede calcular la temperatura.

Hay dos aproximaciones de uso común:

Steinhart-Hart y método **Exponencial** (ver apéndice). Seleccionar el deseado método de cálculo, y presionar EDIT (o hacer clic línea Método de cálculo).

Nota: Método de cálculo y parámetros del termistor solo pueden cambiarse si el controlador TEC está ¡apagado! Seleccionar método de cálculo, presionar DONE.

Además, las constantes del termistor se pueden cambiar: con los botones de flecha para seleccionar un parámetro, luego presionar EDIT, o 2 veces el tema seleccionado.



Figura 2.59 Calibración del Thermistor
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

2.16.16. System Settings

Usar teclas de flechas para seleccionar el parámetro, presionar EDIT, o 2 veces lo seleccionado.



Brillo - Display puede seleccionarse entre 20% y 100%

Auto Dimming: cuando se habilita, luego de 30 segundos, el display cesa y se reactiva con un toque de la pantalla.

Confirmación Audible: un clic confirma la operación del toque del panel.

Volumen Beeper: Volumen de la alerta sonora.

Unidad de Temperatura: la temperatura puede ser desplegada en °C, °F y K (Kelvin).

Habilitar Update de Firmware : Si está habilitado, el CLD1015 responde como un dispositivo DFU (Device Firmware Update) a una PC de control externo (consultar Firmware Update), de lo contrario, el CLD1015 se reconoce como un dispositivo de medición y prueba USB.



Figura 2.60 System Settings
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Información

Esta pantalla da información sobre el dispositivo. Hay botones para iniciar la calibración del touch panel y para borrar el set de memorias.

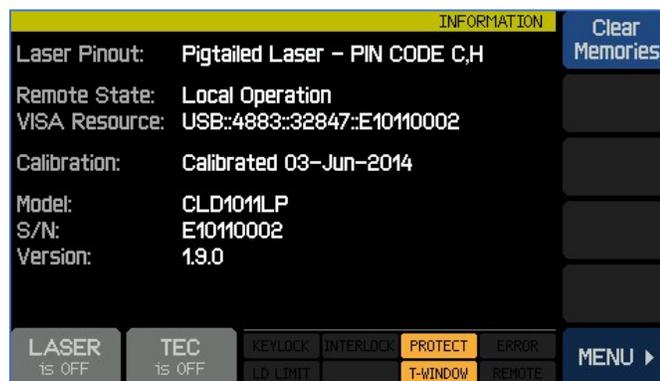


Figura 2.61 Información
Fuente: (Thorlabs.com, 2021b)

Operación Remota

CLD1015 provee un enlace USB 2.0 Full Speed, permite enviar comandos desde una PC al host al instrumento. La conexión a la PC se realiza mediante un cable USB con un conector tipo "A" en el lado de la PC y un conector "Mini B" en el lado del instrumento.

Thorlabs proporciona un controlador de instrumentos VXIpnv y un motor NI-VISA.

Un software de control remoto individual (GUI) para el CLD1015 no está disponible.

Antes de conectar el CLD1015 por primera vez, verificar que el software requerido esté instalado.

Cuando se conecta el instrumento a la PC por primera vez, en los sistemas Windows se mostrará el asistente "Nuevo hardware encontrado". El software de registro de datos, adquisición de datos y análisis de datos de terceros (por ejemplo, MATLAB, NI - LabVIEW Signal Express, VEE de Keysight) se puede conectar fácilmente a través de la interfase USB del instrumento. Para la comunicación básica, se puede utilizar el software Thorlabs Instrument Communicator que se incluye con el CD que viene con el CLD1015.

3. Propuesta

3.1. Título de la propuesta

Diseño e implementación de un módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.

3.2. Descripción de la propuesta

El proyecto de investigación consiste en el diseño e implementación de un módulo didáctico para prácticas aplicadas a sistemas ópticos DWDM utilizando el analizador de espectros ópticos AQ6370D de la marca Yokogawa, Mux/Demux óptico de 8 canales de la marca FS, amplificador óptico de la marca ThorLabs modelo BOA1004P, y patchcords de fibra óptica monomodo con conectores SC.

Se detalla en la siguiente imagen los elementos a utilizar para el desarrollo del banco de pruebas.



Figura 3.1 Banco de prueba DWDM

Las pruebas de validaciones y experimentación se realizarán en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Se entregará un manual de práctica para el uso del MUX/DEMUX DWDM óptico, así como se detallará el uso de los equipos como Analizador de espectros ópticos y el amplificador óptico.

Se realizará adicionalmente una simulación de red DWDM con el software OptiSystem.

3.3. Equipos que se utilizarán en el banco de pruebas DWDM

A continuación, se detallarán los equipos a utilizar en el banco de pruebas DWDM.

3.3.1. Solución híbrida CWDM / DWDM, 8 canales C53-C60, con monitor, expansión y puerto de 1310nm, LC / UPC, DWDM Mux Demux de fibra dual

DWDM Mux Demux se usa generalmente para transmisiones de largo alcance donde las longitudes de onda se empaquetan muy juntas en la banda C, hasta 48 longitudes de onda en una red de 100 GHz (0,8 nm) y 96 longitudes de onda en una red de 50 GHz (0,4 nm). Es un protocolo transparente y se adapta a aplicaciones que incluyen Ethernet 10 / 1G, SDH / SONET, Canal de fibra 16/8/4/2 / 1G, FTTx y CATV. (Fs.com, 2021)



Figura 3.2 Equipo DWDM
Fuente: (Fs.com, 2021)

3.3.2. Especificaciones del producto

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del DWDM

Longitud de onda	8 canales C53-C60	Espaciado de canales	100 GHz (0,8 nm)
Ancho de banda de paso de puerto de 1310 nm	1260nm ~ 1360nm	Pérdida de inserción	≤ 3.3dB (con conectores y adaptadores)
Ondulación de la banda de paso	≤ 0,5 dB	Banda de paso del canal	± 0,11 nm
Pérdida de inserción @ Exp	≤ 3.3dB (con conectores y adaptadores)	Tecnología	TFF (filtro de película fina)
Aislamiento de canal adyacente	≥ 30dB	Canal no adyacente	≥ 40 dB
Pérdida de retorno	≥ 45 dB	Directividad	≥ 45 dB
Pérdida dependiente de la polarización	≤ 0,3 dB	Dispersión del modo de polarización	≤ 0,1 ps
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85 ° C (-40 a 185 ° F)	Temperatura de almacenamiento	-40 a 85 ° C (-40 a 185 ° F)
Peso neto	1,2 kg (2,6 libras)	Dimensiones (Al x An x Pr)	1,73 "x8,35" x10,04 "(44x212x255 mm)

Fuente: (Fs.com, 2021)

3.3.3. Conectividad de red DWDM

Con el equipo DWDM se puede lograr hasta transmisiones de 40 km sin ningún dispositivo adicional, para el caso del banco de pruebas no es necesaria esta conexión.

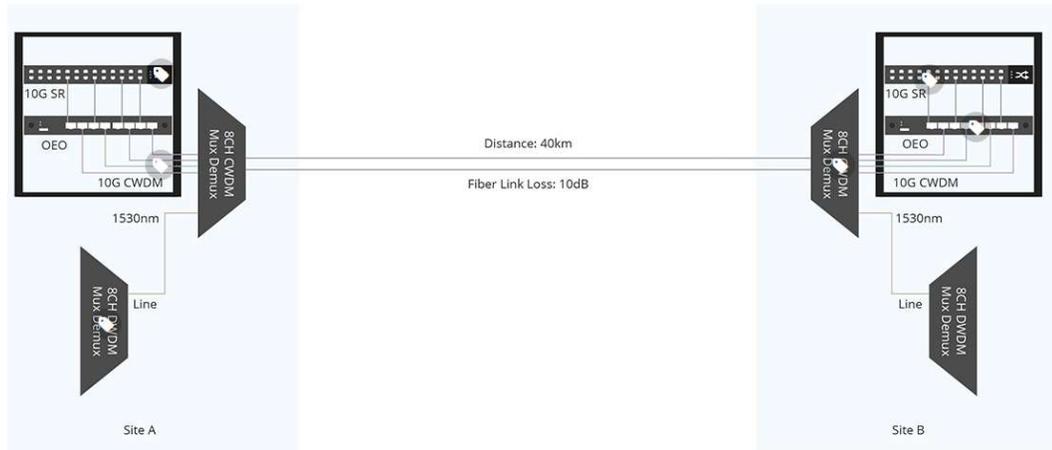


Figura 3.3 Equipos DWDM para largas distancias
Fuente: (Fs.com, 2021)

3.3.4. ThorLabs Amplificador óptico

BOA1004P es un Amplificador óptico de refuerzo que tiene una potencia de salida de alta saturación, alto ancho de banda, mantenimiento de polarización.

Incorpora un pozo cuántico QW (Quantum Well) de InP/ InGaAsP altamente eficiente con estructura de capas y un diseño de guía de ondas confiable.

Está alojado en un estándar de 14 pines. Paquete de mariposa con un refrigerador termoeléctrico integrado (TEC) y termistor. (Thorlabs.com, 2021a)

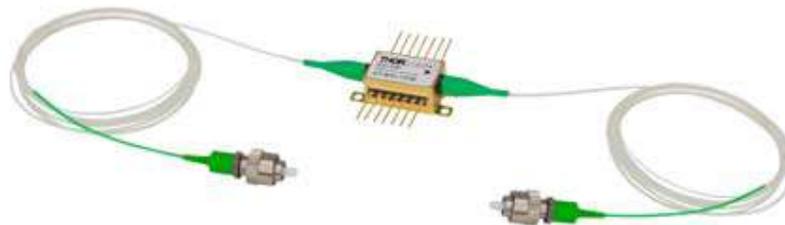


Figura 3.4 ThorLabs amplificador óptico
Fuente: (Thorlabs.com, 2021a)

3.3.5. Compact Laser Diode Controller CLD1015

Controlador de temperatura y diodo láser compacto con interfase USB 2.0 para control de diodos láser de hasta 1,5 A (CLD1015) de corriente del láser. En paquete de mariposa (butterfly).

Aspectos más destacados de los controladores de temperatura y diodo láser compacto CLD1015 son:

- CLD1015 opera con Distributed Feedback Laser DFB tipo 1 (láser de bomba) y tipo 2 (láser DFB)
- El diodo láser se puede operar en corriente constante y en modo de potencia constante.
- Modo CW con modulación hasta 250 kHz.
- Enclavamiento para apagado automático por interruptor de emergencia o interrupción del cable.
- Controlador de temperatura con excelente estabilidad de térmica.
- Ventana de temperatura para protección láser.
- Variedad de características de protección protegen el diodo láser y el elemento TEC de daños.
- Panel táctil para una fácil operación.
- Interfase USB para operación remota compatible con protocolo USB-TMC.
- Conjunto de comandos compatible con SCPI control de instrumentos
- VXI pnp para diversos entornos de programación, incluyendo NI-LabVIEW™, NI-LabWindows™ / CVI y MS-Visual Studio.



Figura 3.5 Compact Laser Diode Controller CLD1015
Fuente: (Thorlabs.com, 2021a)

3.3.6. Analizador de espectros ópticos AQ6370D

El AQ6370D es la última versión del OSA de clase Telecom más popular de Yokogawa. Ofrece un rango de longitud de onda versátil de 600 nm a 1700 nm, ideal para aplicaciones de telecomunicaciones y de uso general. El exclusivo diseño de entrada de espacio libre permite probar fibras monomodo de clase DWDM y multimodo de origen VCSEL en un solo modelo.

Las funciones recientemente agregadas incluyen registro de datos, muestreo de puerta, calibración de resolución, una función de marcador avanzada y un modo de barrido automático mejorado. (Yokogawa, 2021)



Figura 3.6 Analizador Yokogawa AQ6370D
Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7. Características principales del analizador de espectros ópticos AQ6370D

3.3.7.1. Rendimiento óptico de clase mundial

- Rango de longitud de onda: 600 a 1700 nm
- Alta precisión de longitud de onda: $\pm 0.01\text{nm}$
- Resolución de alta longitud de onda: 0,02 nm
- Amplio rango dinámico: 78dB típ.
- Amplio rango de niveles: +20 a -90dBm
- Medición rápida: 0,2 seg. (Intervalo de 100 nm)
- Aplicable a fibras monomodo y multimodo

3.3.7.2. Modelos estándar y de alto rendimiento

Hay dos modelos disponibles, estándar y alto rendimiento. El modelo de alto rendimiento proporciona una precisión de longitud de onda y un rango dinámico aún mayores.

Resolución de alta longitud de onda: 0,02 nm

3.3.7.3. Precisión de alta longitud de onda: $\pm 0.01\text{nm}$

- Modelo de alto rendimiento: $\pm 0.01\text{nm}$ (banda C)
- Modelo estándar: $\pm 0.02\text{nm}$ (banda C + L)

Tabla 3.2 Precisión de alta longitud de onda: $\pm 0.01\text{nm}$

Rango de onda				Estándar (-12)			Alto rendimiento (-22)		
1520	a	1580	nm	\pm	0,02	nm	\pm	0,01	nm
1580	a	1620	nm	\pm	0,02	nm	\pm	0,02	nm
1450	a	1520	nm	\pm	0,04	nm	\pm	0,04	nm
Rango completo				$\pm 0,1$ nm			$\pm 0,1$ nm		

Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.4. Rango dinámico ultra alto: 78dB típ.

Con la luz parásita reducida en el monocromador, AQ6370D logra un rango dinámico ultra alto de típ. 78dB.

Tabla 3.3 Rango dinámico ultra alto: 78dB típ

	Estándar (-12)		Alto rendimiento (-22)
Pico $\pm 1,0$ nm	73	dB	73 dB (típico 78dB)
Pico $\pm 0,4$ nm	62	dB	64 dB (típico 70dB)
Pico $\pm 0,2$ nm	45 dB		50 dB (típico 55dB)

* Configuración de resolución 0.05 nm

Fuente: (Yokogawa, 2021)

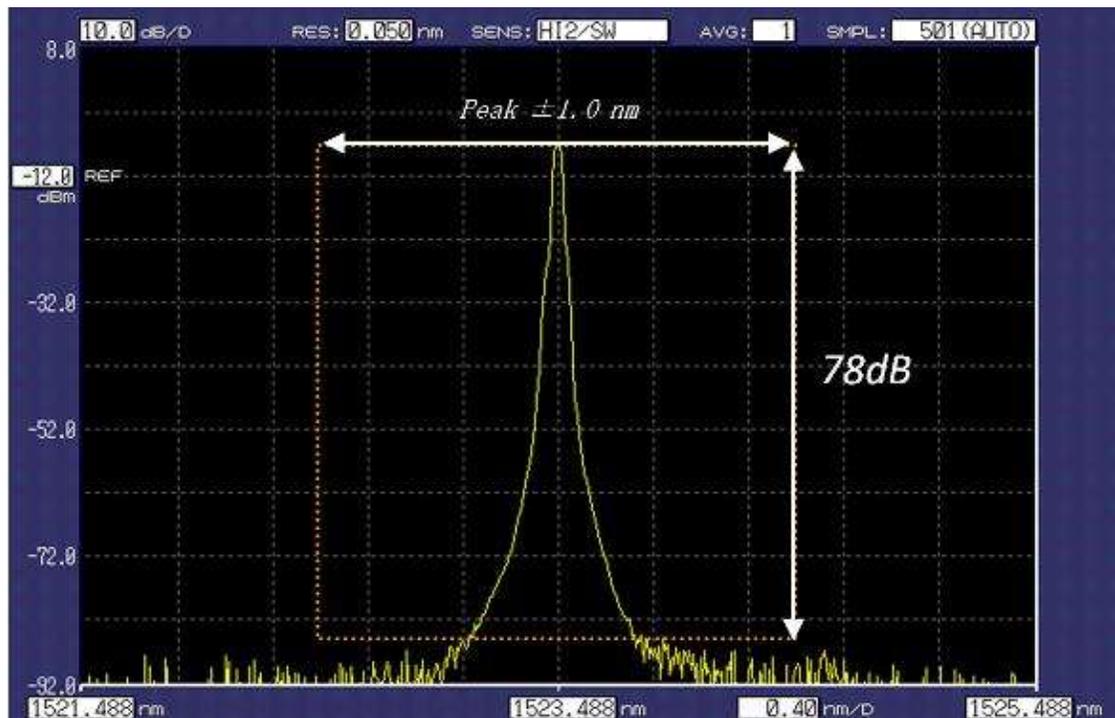


Figura 3.7 Ejemplo de rango dinámico

Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.5. Borde de filtro más afilado

El modelo de alto rendimiento también puede lograr un rango dinámico más alto dentro de 0,2 nm de la longitud de onda máxima. Con las características espectrales más nítidas del monocromador, las señales espectrales en las proximidades se pueden separar claramente y medir con precisión.

Tabla 3.4 Borde de filtro más afilado

	Estándar (-12)	Alto rendimiento (-22)
Pico \pm 0,2 nm	55 dB	58 dB (tipo 60dB)
Pico \pm 0,1 nm	37 dB	45 dB (tipo 50dB)

* Configuración de resolución 0.02 nm

Fuente: (Yokogawa, 2021)

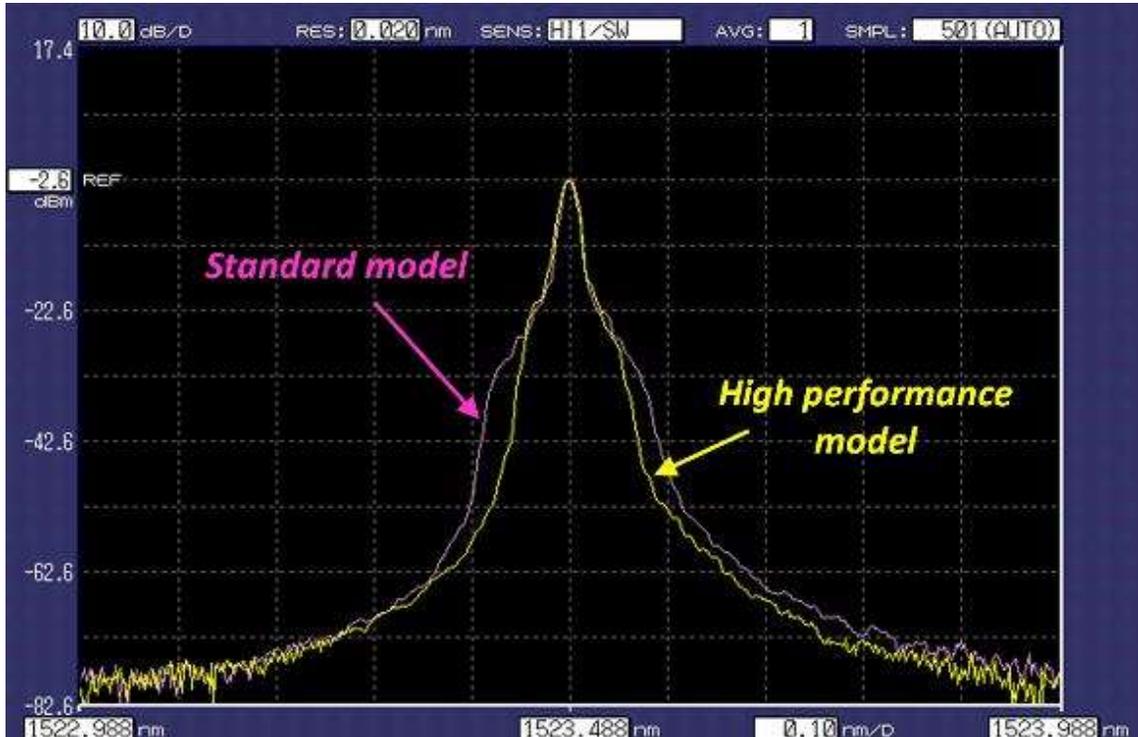


Figura 3.8 Ejemplo de forma espectral

Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.6. Relación de supresión de luz parásita: 80 dB típ.

Esta nueva especificación proporciona la capacidad de supresión de luz parásita cuando no se utiliza el modo de alta dinámica, que generalmente requiere más tiempo de medición. El AQ6370D contribuye a acortar el tiempo de medición con la alta relación de supresión de luz parásita.

Tabla 3.5 Relación de supresión de luz parásita: 80 dB típ.

Estándar (AQ6370D-12)	Alto rendimiento (AQ6370D-22)
73dB	76dB (típico 80dB)
* Configuración de resolución 0,1 nm	

Fuente: (Yokogawa, 2021)

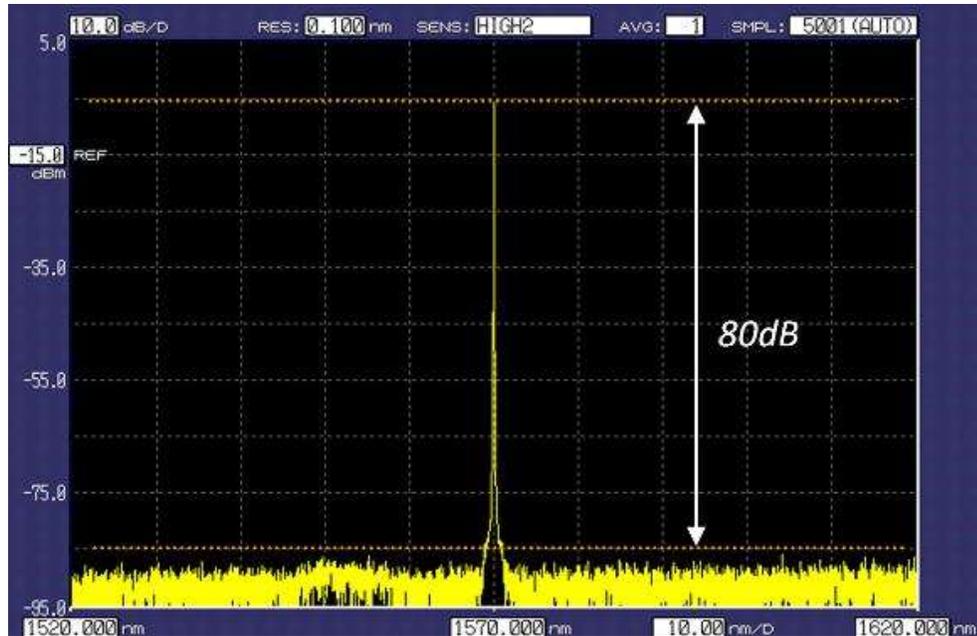


Tabla 3.6 Ejemplo de relación de supresión de luz parásita

Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.7. Amplio rango de nivel: + 20DBm a -90dBm

El AQ6370D puede medir fuentes de alta potencia como amplificadores ópticos y láseres de bombeo para amplificadores Raman, y también señales ópticas muy débiles. La sensibilidad de medición se puede elegir entre siete categorías según las aplicaciones de prueba y los requisitos de velocidad de medición.

- Sensibilidad de nivel mejorada: -85dBm (1000 a 1300nm)
- Función de suavizado: reduce el ruido en el espectro medido
- Modo de alta dinámica: obtenga un mejor rango dinámico reduciendo la influencia de la luz parásita, que se produce cuando la entrada es una señal óptica fuerte.

3.3.7.8. Entrada de espacio libre

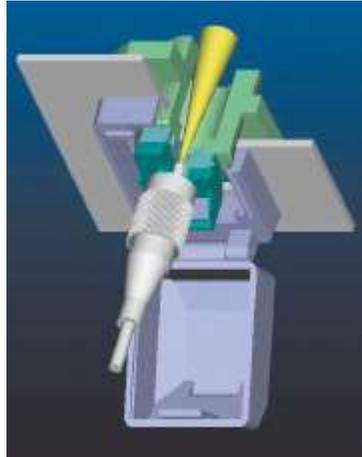


Tabla 3.7 Entrada de conexión al analizador
Fuente: (Yokogawa, 2021)

- **Fibra multimodo y monomodo en el mismo OSA.**
La baja pérdida de inserción del AQ6370D para fibra multimodo también es beneficiosa para mantener la excelente eficiencia de medición.
- **Pequeña variación de pérdida de inserción en la entrada**
Conector aumenta la repetibilidad de la medición.
- **Sin dañar las fibras de conexión**
Porque no hay contacto físico.
- **Corrección de nivel APC**
La función de corrección de nivel de APC corrige el desplazamiento de nivel causado por una pérdida de inserción del conector de PC en ángulo.

3.3.7.9. Excelente eficiencia

Barrido rápido: 0.2sec./100nm

Con un monocromador avanzado, circuitos eléctricos más rápidos y técnicas de reducción de ruido, el AQ6370D logra una velocidad de medición rápida incluso al medir un espectro pronunciado de señales DFB-LD o DWDM, o al medir una señal de baja potencia de una fuente de luz de banda ancha.

3.3.7.10. Interfaz remota rápida (Ethernet, GP-IB)

Barrido amplio, pero de alta resolución

Los 50.001 puntos de muestreo de datos amplían el rango de medición en un solo barrido mientras mantienen una alta resolución de longitud de onda. Esto hace que su medición sea más fácil y eficiente que los sistemas convencionales.

3.3.7.11. Operación fácil

Seguimiento de zoom

- Cambie las condiciones de visualización, como la longitud de onda central y la amplitud, haciendo clic y arrastrando el mouse.
- Amplíe su área de interés al instante y muévala a su antojo.

Operación del mouse y del teclado

- La operación del panel frontal ha demostrado ser intuitiva y fácil de usar por muchos de nuestros usuarios.
- Aún más fácil con un mouse.
- El teclado ayuda a ingresar etiquetas y nombres de archivos.

3.3.7.12. Manejo sencillo de datos

- **Almacenamiento USB**

Las interfaces USB admiten unidades de disco duro y memoria extraíble de gran capacidad.

- **512 MB de memoria interna**

por más de 20.000 trazas

- **Archivo de seguimiento todo a la vez**

Los siete rastros se pueden guardar en un archivo a la vez.

3.3.7.13. Función de registro de datos

La función de registro de datos registra los resultados del análisis, como el análisis WDM (OSNR, relación señal óptica / ruido), análisis de diodo láser de retroalimentación distribuida (DFB-LD) y mediciones de picos múltiples en hasta 10,000 puntos por canal con marcas de tiempo. Los datos registrados se pueden mostrar en forma de tabla y gráfica. Esta función es útil para las pruebas de estabilidad a largo plazo y las pruebas

de ciclo de temperatura de sistemas y dispositivos. El espectro óptico de cada medición también se puede almacenar para su revisión y resolución de problemas.

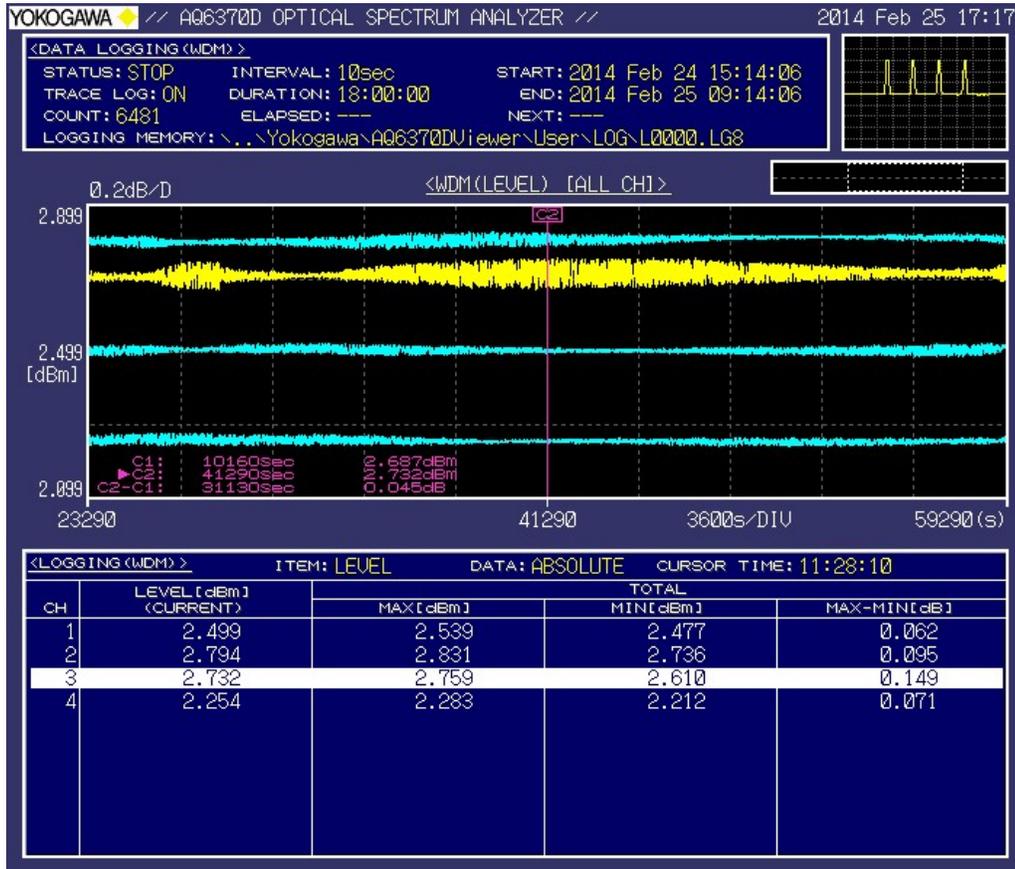


Figura 3.9 Ejemplo de visualización de registro de datos
Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.14. Función de marcador avanzada

La función advanced marker agrega marcadores para obtener la densidad de potencia y la potencia integrada de un espectro designado. Esta nueva característica facilita la obtención de un valor OSNR de la señal, ya sea modulada o no, directamente de su espectro.



Figura 3.10 Ejemplo del marcador avanzado
Fuente: (Yokogawa, 2021)

3.3.7.15. Función de muestreo de puerta

La función Gate Sampling facilita la prueba de bucle de recirculación de los sistemas de transmisión óptica. Usando una señal de puerta externa, el AQ6370D obtiene el espectro óptico de la señal que pasa por un cierto bucle. La ventaja de este enfoque es su velocidad en comparación con la función convencional de activación externa o activación de barrido.

3.3.7.16. Función de calibración de resolución

La función de calibración de resolución se utiliza para calibrar el ancho de banda equivalente al ruido con una fuente de luz externa. Con esta nueva característica, las mediciones de densidad de potencia de una fuente de luz de amplio espectro serán más precisas.

3.3.7.17. Sistema de prueba automatizado de construcción

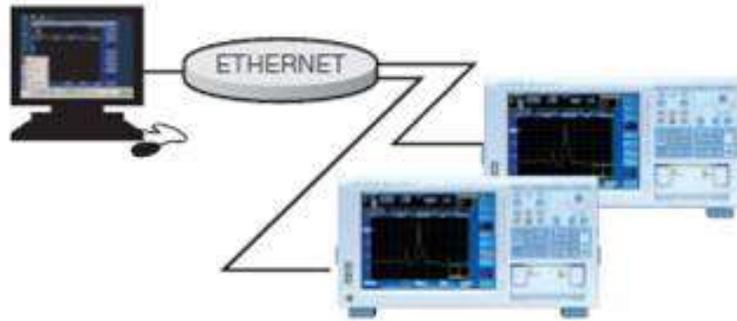


Figura 3.11 Programación macro
Fuente: (Yokogawa, 2021)

- Cree un sistema de medición automática simple sin un controlador externo.
- Programa de prueba fácil de crear mediante el registro de las pulsaciones de teclas reales del usuario y las selecciones de parámetros.

Interfaces remotas rápidas

- Interfaces GP-IB, RS-232 y Ethernet (10 / 100Base-T)
- Mejore el rendimiento de las pruebas de los sistemas de prueba mediante la medición rápida, el procesamiento de comandos y la velocidad de transferencia de datos.
- Comandos compatibles con SCPI y modo de emulación AQ6317
- Controlador LabVIEW® disponible.

3.3.7.18. Fácil de mantener la precisión

El cambio de condición ambiental, la vibración y el impacto de un producto de precisión óptica, como un analizador de espectro óptico, afectarán los componentes ópticos y, finalmente, degradarán el rendimiento óptico. Con funciones estándar, el AQ6370D puede mantener su alto rendimiento óptico en un par de minutos para que pueda iniciar rápidamente una medición.

Fuente de referencia de longitud de onda incorporada

- El AQ6370D viene equipado con una fuente de referencia de longitud de onda para la calibración de longitud de onda y la alineación óptica.

Función de calibración de longitud de onda

- Calibra automáticamente con la referencia de longitud de onda incorporada o una fuente de luz externa, para garantizar la precisión de la longitud de onda.

Función de alineación óptica

- Alinea automáticamente la ruta óptica en el monocromador utilizando la fuente incorporada para mantener un alto rendimiento.

3.3.7.19. Aplicaciones

El alto rendimiento general de AQ6370D puede cubrir no solo la fabricación de dispositivos ópticos y sistemas de transmisión óptica, sino también la investigación y el desarrollo, y una variedad de otras aplicaciones.

- Dispositivos ópticos activos
- Diodo láser / Láser de fibra / Amplificador óptico / Transceptor óptico
- Dispositivos ópticos pasivos
- Filtro / FBG / AWG / WSS / ROADM / Fibra óptica
- Equipo de transmisión óptica (DWDM, CWDM)
- Soporte de desarrollo de equipos de fotónica aplicada
- Fuentes ópticas LiDAR y 3D Sensing

3.3.7.20. LiDAR, medición de haz en espacio libre con diodo láser

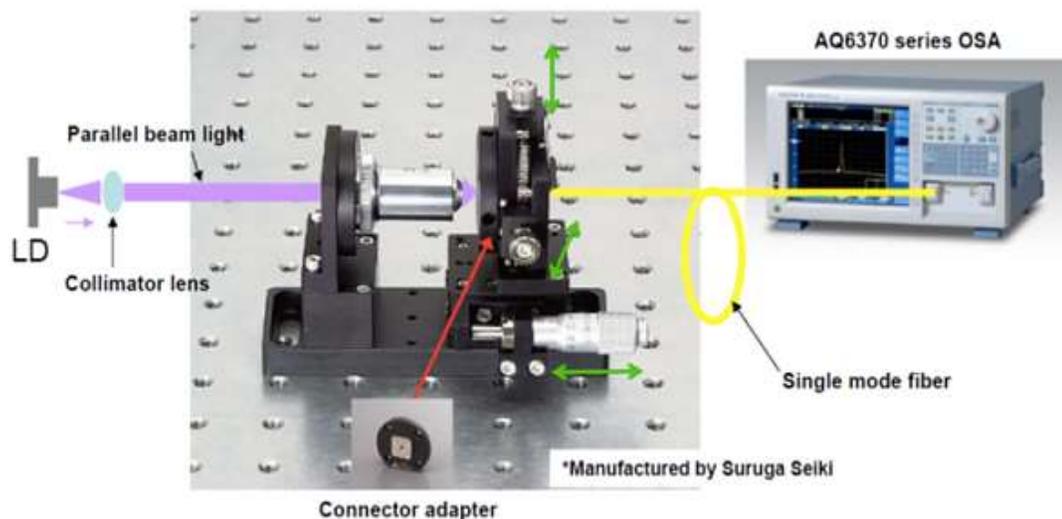


Figura 3.12 Lidar
Fuente: (Yokogawa, 2021)

El haz de espacio libre de fuentes ópticas a nivel de dispositivo para LiDAR, detección 3D, chips de obleas, transceptores ópticos TOSA y diodos láser (LD) en general se puede acoplar convenientemente a una entrada de fibra utilizando varias soluciones de captura de haz para optimizar el rendimiento de detección espectral del OSA.

Para realizar pruebas a largo plazo de efectos de temperatura extrema para dispositivos LiDAR automotrices como ejemplo, aprenda cómo se puede utilizar la función de registro de datos para eliminar el desarrollo y la validación de programas que requieren mucho tiempo.

3.3.7.21. Medición OSNR en el sistema DWDM

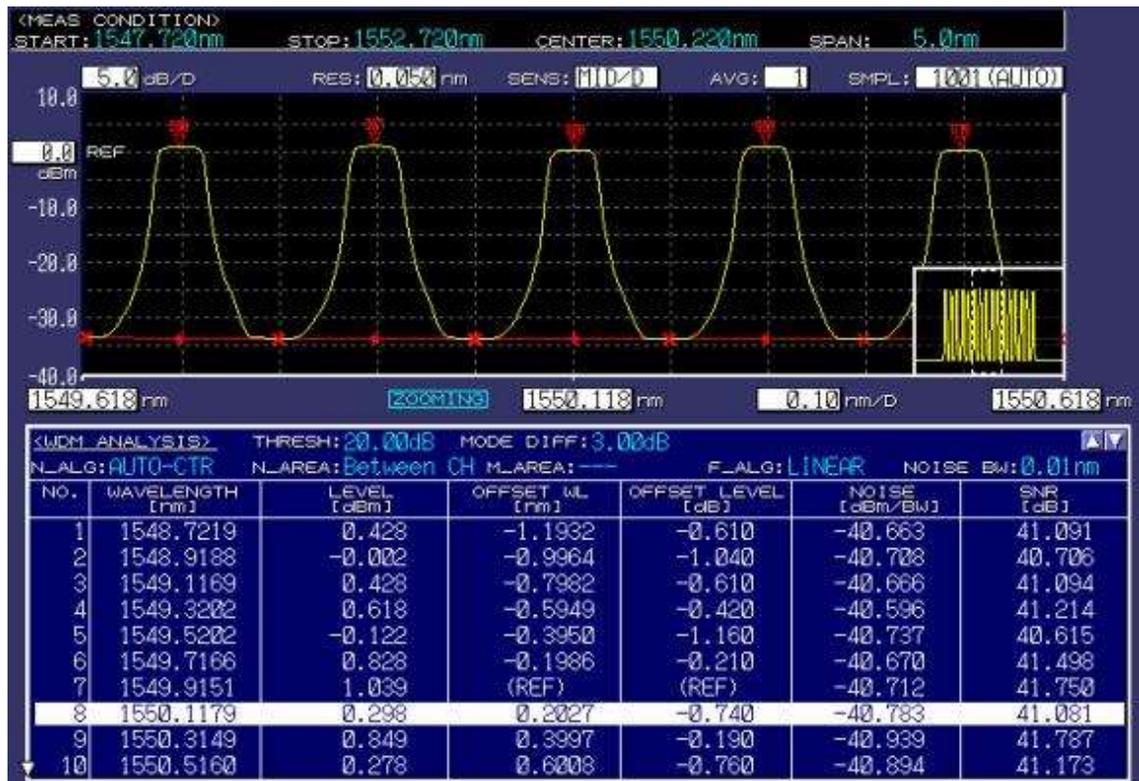


Figura 3.13 Medición OSNR en el sistema DWDM
Fuente: (Yokogawa, 2021)

El amplio rango dinámico cercano del AQ6370D permite una medición OSNR precisa de los sistemas de transmisión DWDM (espaciado de hasta 50 GHz). La función de análisis WDM incorporada analiza la forma de onda medida y muestra la longitud de onda máxima, el nivel máximo y el OSNR de las señales WDM hasta 1024 canales simultáneamente.

3.3.7.22. Medición del amplificador óptico (EDFA)

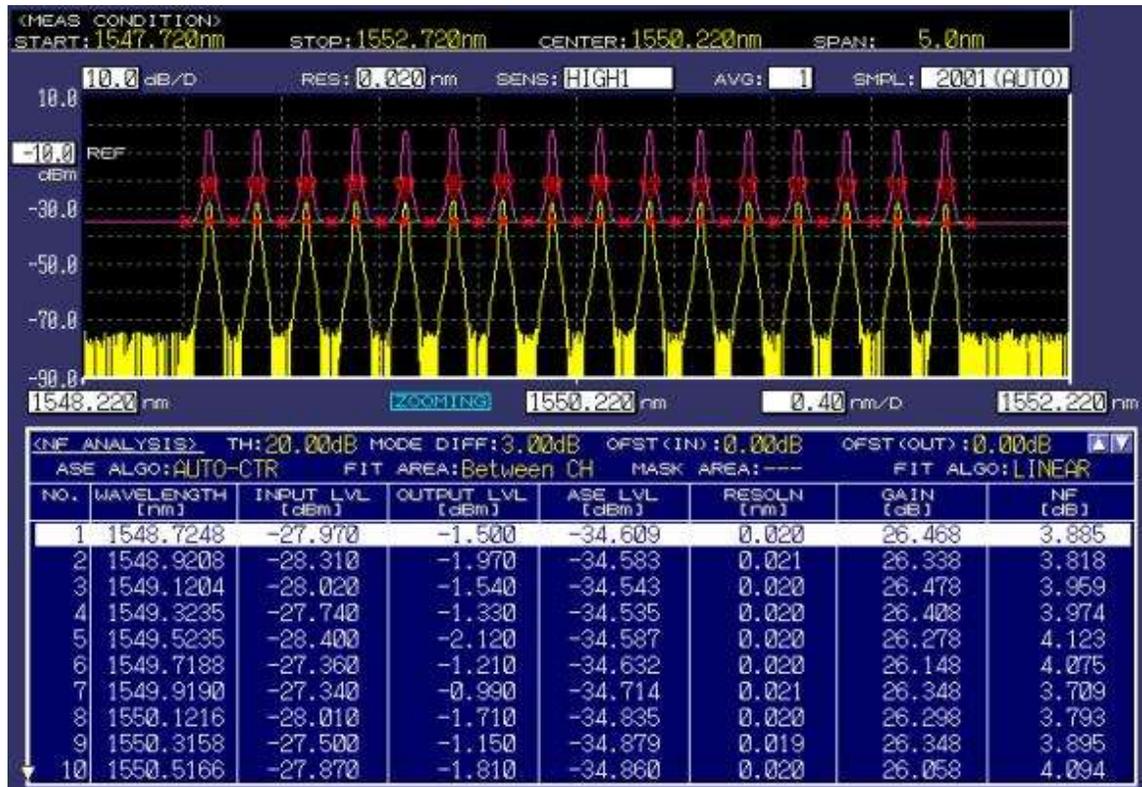


Figura 3.14 Medición del amplificador óptico (EDFA)
 Fuente: (Yokogawa, 2021)

El método de interpolación ASE se utiliza para medir la ganancia, NF y parámetros clave para la evaluación de amplificadores de fibra óptica. Con la función de análisis WDM-NF, se pueden probar simultáneamente hasta 1024 canales de señales multiplexadas. Un nivel de ASE para las mediciones de NF se calcula utilizando una función de ajuste de curva para cada canal WDM.

4. Resultados

4.1. Pruebas con el módulo didáctico DWDM

En este apartado se va a explicar las pruebas realizadas del proyecto de titulación denominado “Diseño e implementación de un módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para el laboratorio de telecomunicaciones de la universidad politécnica salesiana.”

Los elementos que se utilizan para el módulo didáctico son los siguientes:

- Emisor de luz (que servirá como transmisor).
- Multiplexor y demultiplexor.
- El analizador de espectro óptico (el cual servirá para analizar la longitud de onda).

A continuación, se realiza la calibración del espectro, el equipo debe estar al menos una 1 hora encendido para que realice las respectivas funciones y analice de manera eficiente, utilizando el cable SC APC se lo conecta en la entrada y salida del analizador del espectro lo cual debe ser la misma línea en este caso se utilizará la línea 2.

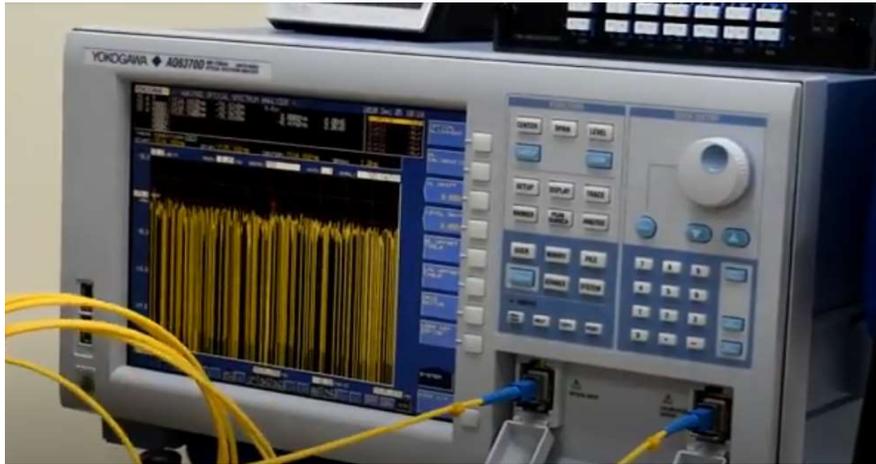


Figura 4.1 Analizador de espectros ópticos
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Una vez conectado el cable se procede a realizar la calibración del equipo analizador de espectros ópticos.

Se selecciona la opción “optical aliment” y se espera un momento para que se calibre.

Después de haber terminado la calibración del equipo se procede a retirar el cable para proceder a utilizar el emisor de luz, se realiza posteriormente la conexión a la corriente el cual consta de un seguro en la parte trasera, el mismo que se debe abrir para poder utilizarlo en la salida de la luz.

Se saca el emisor de luz como un transmisor para poder enviar la luz hacia el MUX DEMUX DWDM y así observar el comportamiento de la gráfica



Figura 4.2 Transmisor óptico CLD1015
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)



Figura 4.3. Compact Laser Diode Controller CLD1015
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Para poder conectar del emisor de luz hacia el MUX DEMUX DWDM se utiliza un cable de fibra óptica de LC/UPC – FC/UPC de 3M.



Figura 4.4 Patchcord de fibra óptica
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

En un extremo del cable que es FC/UPC va conectada al emisor de luz

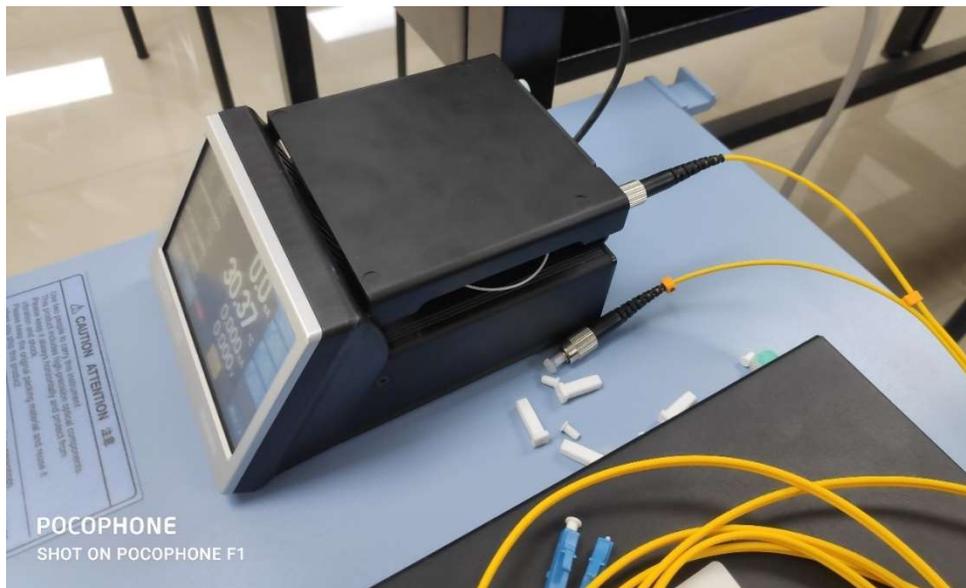


Figura 4.5 Emisor de luz
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se conecta en el puerto de LINE en la parte de TX y se conectan los extremos del cable y el otro extremo se debe conectar en el mismo puerto LINE pero en la parte de RX para que así pueda trabajar el MUX y DEMUX respectivamente.

Se realiza la comunicación del emisor de luz, el cual va a ser el transmisor que proporcionará la luz al equipo MUX/DEMUX DWDM.

Para poder tener comunicaciones se debe utilizar un cable patchcord de fibra óptica con conectores FC a LC, luego de la conexión se procede a enroscar el conector FC en el extremo del emisor de luz y el otro extremo el equipo, se realiza la conexión en el canal C53 adecuado para la recepción.



Figura 4.6 Módulo DWDM conectado
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

A continuación, para hacer la parte importante del multiplexador y demultiplexador cabe recalcar que el equipo DWDM cumple dos funciones, para hacer la conexión se usa un cable de LC a LC del mismo tipo se procede a retirar los protectores en este caso el cable a y se realiza la conexión en el canal de línea de transmisor al receptor para que pueda hacer la parte MUX y DEMUX.



Figura 4.7 Conexión del equipo DWDM
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

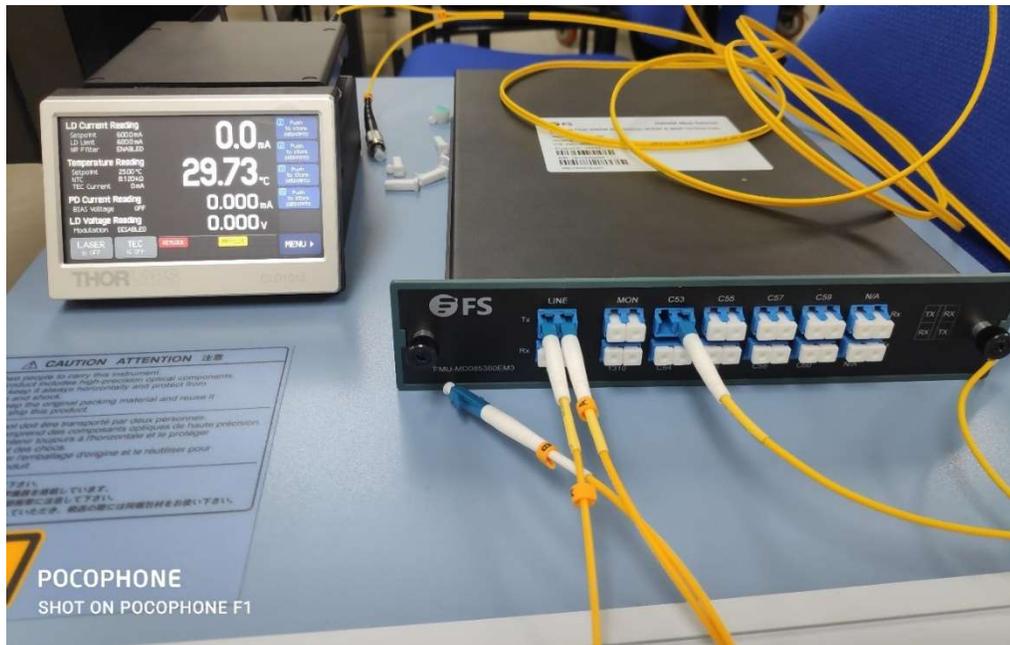


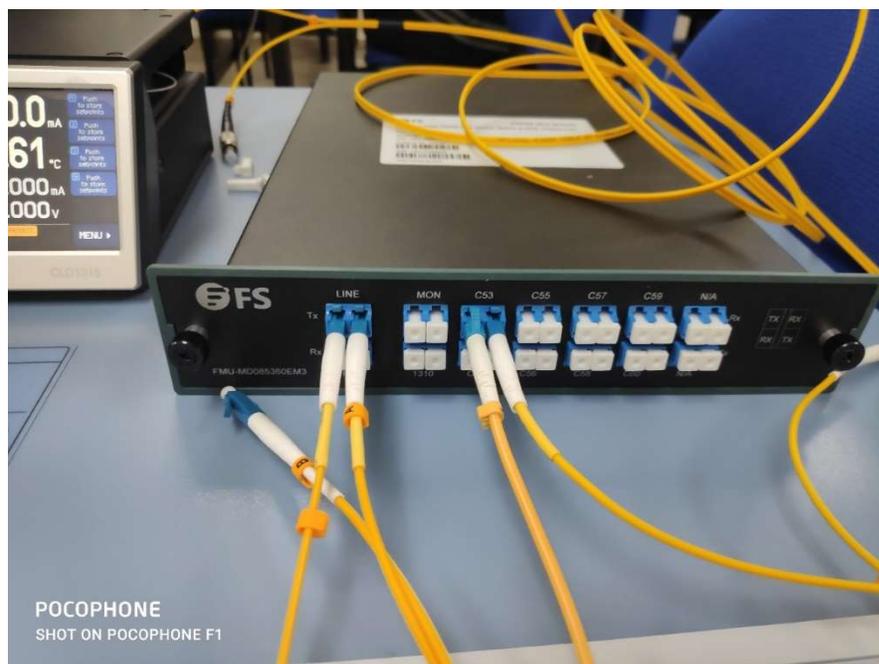
Figura 4.8 Conexión de equipos
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Para poder enviar al analizador de espectro necesitamos otro tipo de cable de fibra el cual es LC/UPC – SC/UPC.



Figura 4.9 Patchcord de fibra óptica adicional para módulo
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

La parte del LC/UPC se debe conectar en la parte de TX en el puerto C53 la cual es la salida después de haber pasado por el MUX y DEMUX del equipo.



Se procede con la conexión del equipo en conjunto con el analizador de espectros ópticos, este actuará como receptor en el sistema óptico.

Para realizar la comunicación se requiere un cable de LC a SC entonces se procede a retirar los protectores en este caso el cableado azul se lo conecta en el canal C53 en la parte del transmisor hasta la entrada del analizador de espectro ópticos, después de haber terminado la conexión del equipo para poder ver el comportamiento de longitud de onda se tiene que enviar la luz del emisor al equipo multiplexor y demultiplexor hacia la fibra óptica.



Figura 4.10 Conexión de patchcord
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

En el equipo emisor de luz óptica se realiza la calibración necesaria para el envío de la luz óptica al sistema de comunicaciones ópticas.



Figura 4.11 Calibración del CLD1015
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

La luz se propaga por el cable para poder visualizar la longitud de onda que se debe seleccionar en el analizador de espectro ópticos.

Se selección la opción “auto” para observar el comportamiento de la longitud de onda, en este caso se observa que existe un salto de -45dbm con lo cual se realiza la comparación del comportamiento de longitud de onda.



Figura 4.12 Visualización del espectro óptico
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

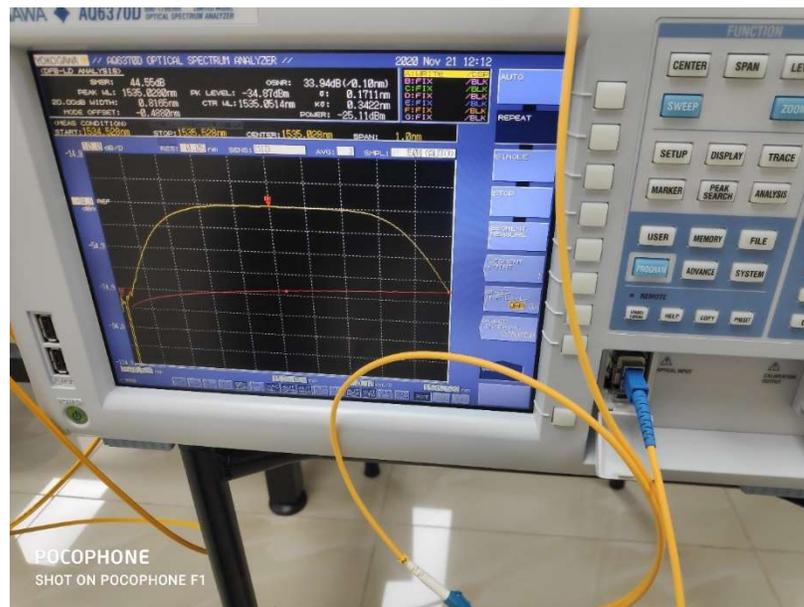


Figura 4.13 Pruebas de mediciones
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Circuito final en la parte física para poder analizar la gráfica y así ver la diferencia con la parte simulada mediante software OptiSystem.

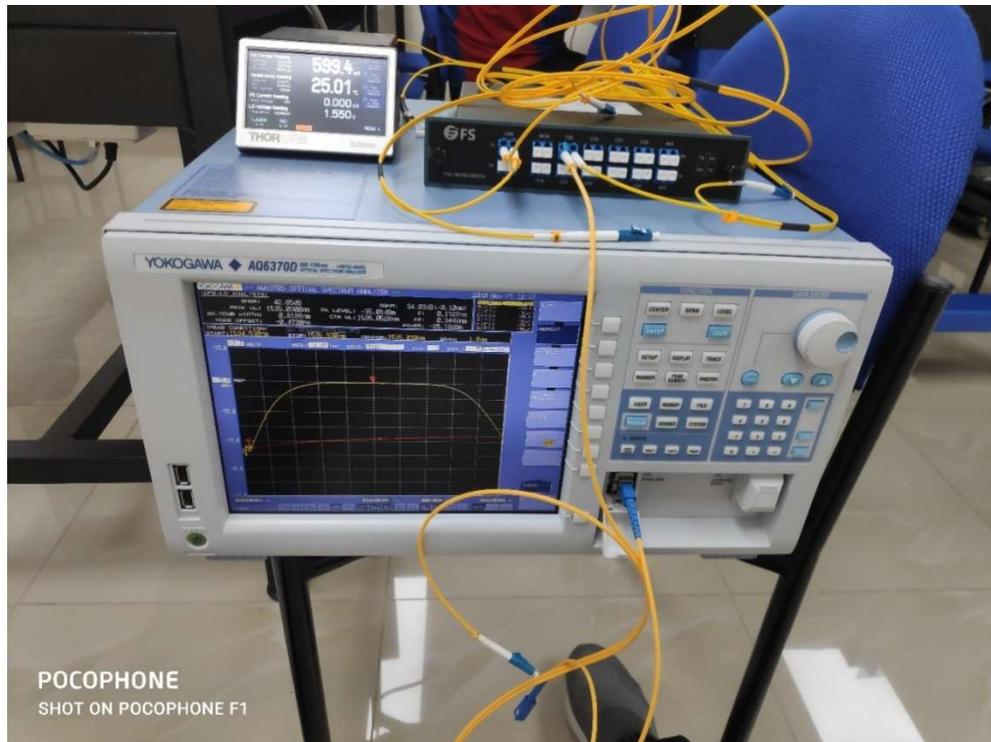


Figura 4.14 Módulo práctico DWDM
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

4.2. Pruebas con el simulador de OptiSystem.

Se realiza una descripción breve de las pruebas con el software de simulación Optisystem

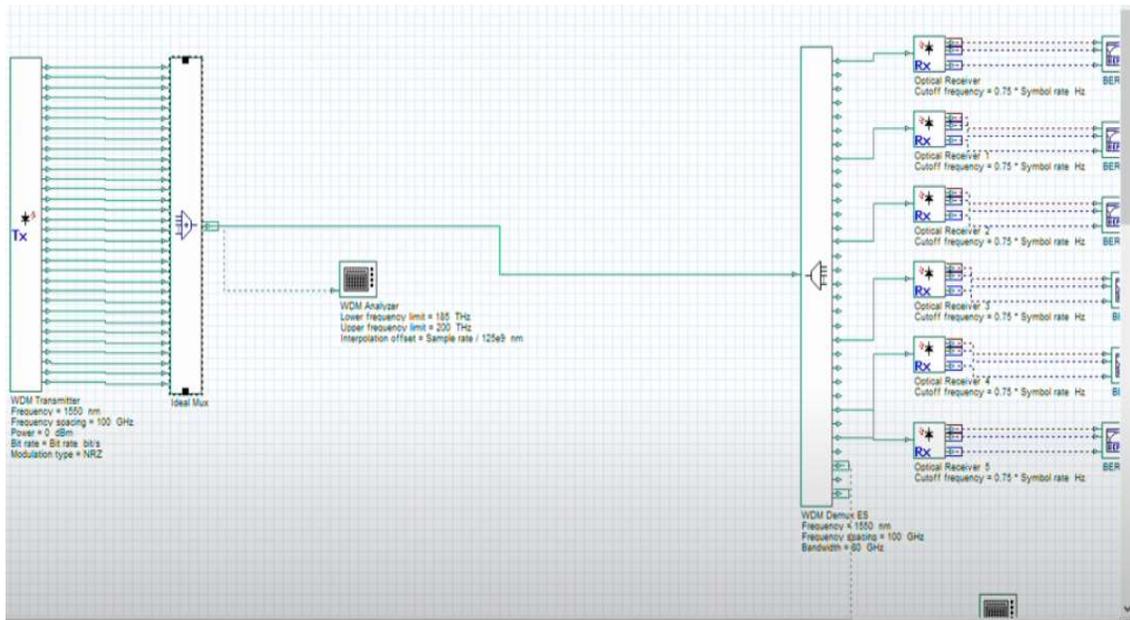


Figura 4.15 OptiSystem Simulador DWDM con Optisystem
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Teniendo en cuenta los elementos que se van a utilizar:

- WDM transmitter
- Ideal Mux
- WDM Analyzer
- WDM demux ES
- Optical Receiver
- BER Analyzer

Para el proceso de la simulación en primera instancia se realiza la respectiva búsqueda del elemento WDM Transmitter y el Ideal mux en las distintas librerías, luego de encontrarlos se los arrastra al diseño principal.

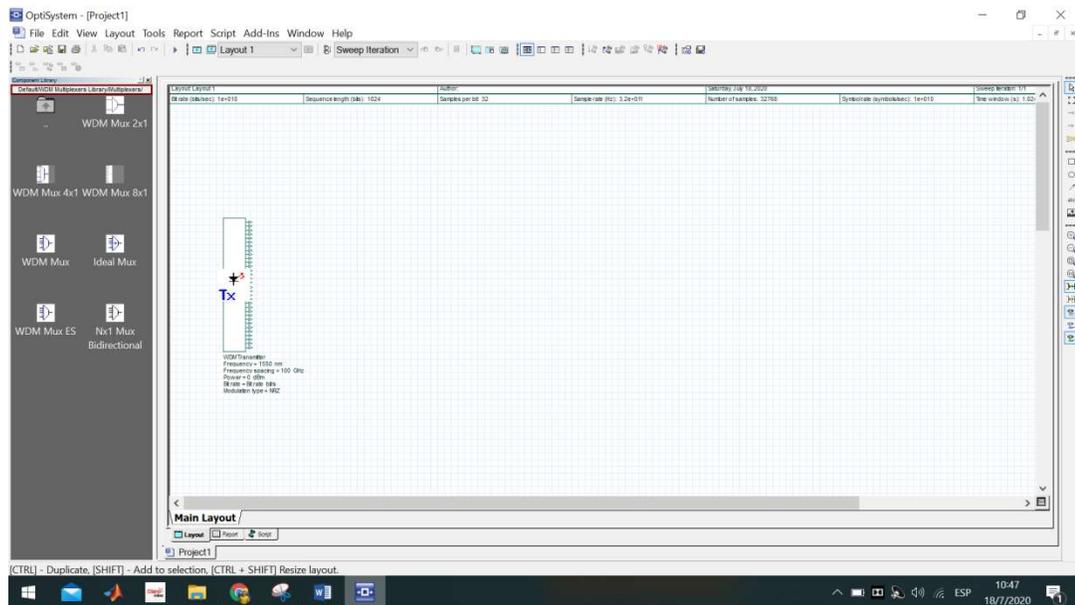


Figura 4.16 Transmisor óptico con OptiSystem
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se realiza una configuración básica a el elemento WDM Transmitter dando doble click en el elemento donde se utiliza la frecuencia que sería la longitud de onda y los números de salida de los puertos que serán 32 salidas para los distintos comportamientos en valores, asignando 1550nm de Frecuencia y los demás vienen por defecto. Se realiza la modificación de los parámetros del transmisor DWDM la cual se coloca 32 puertos y la Frecuencia se pone 1550nm.

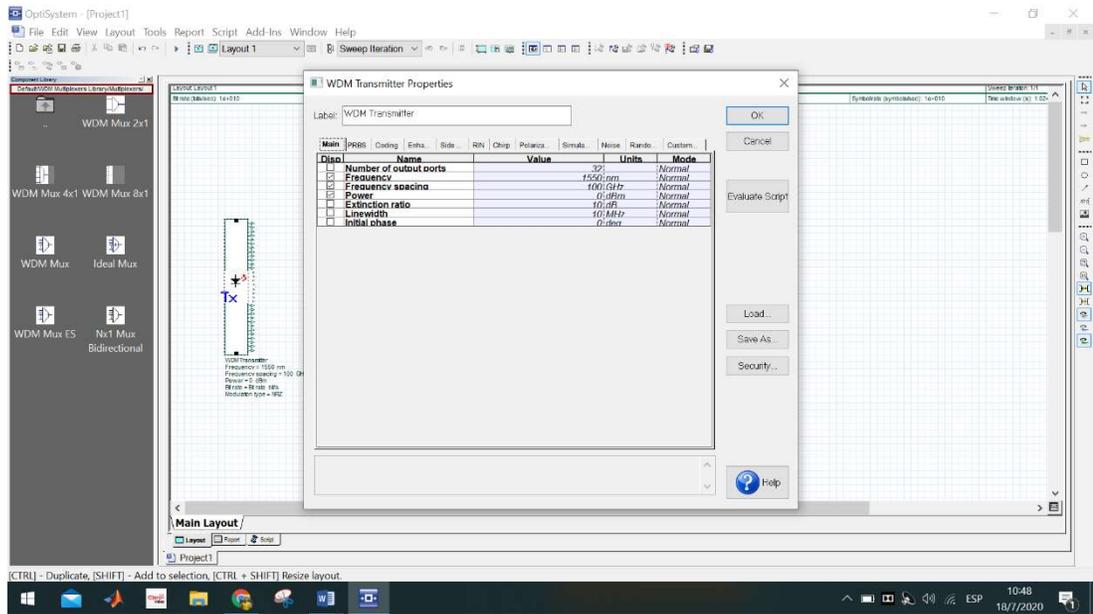


Figura 4.17 Parámetros del TX óptico
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

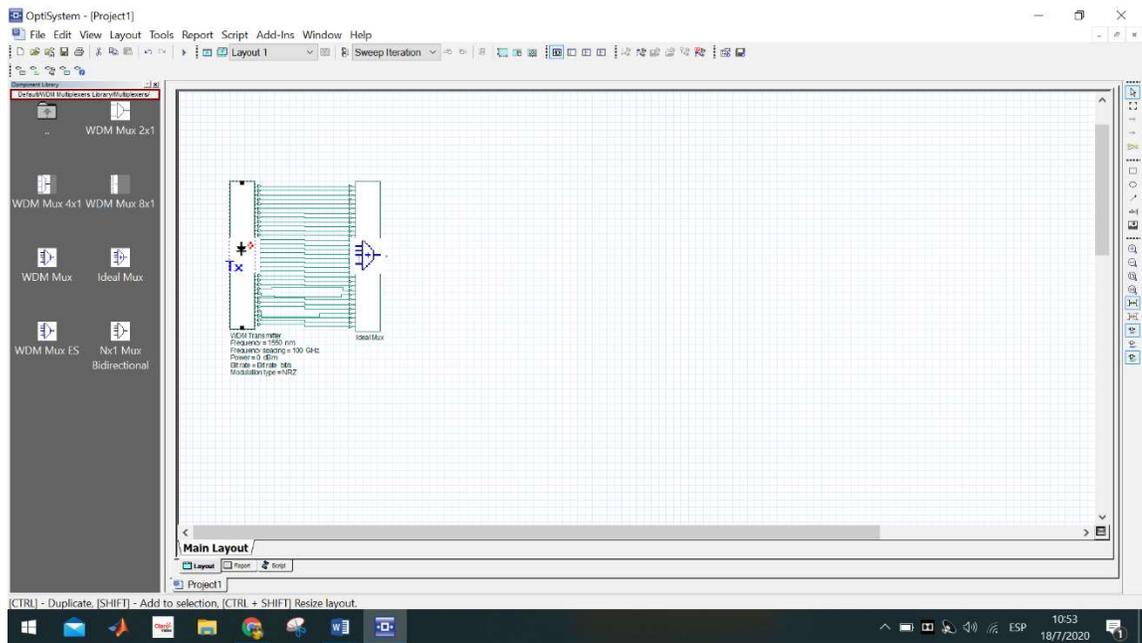


Figura 4.18 Ideal Mux y conexiones
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Para la configuración del Demux se coloca 32 puertos para poder conectarlos entre si con el DWDM Transmitter.

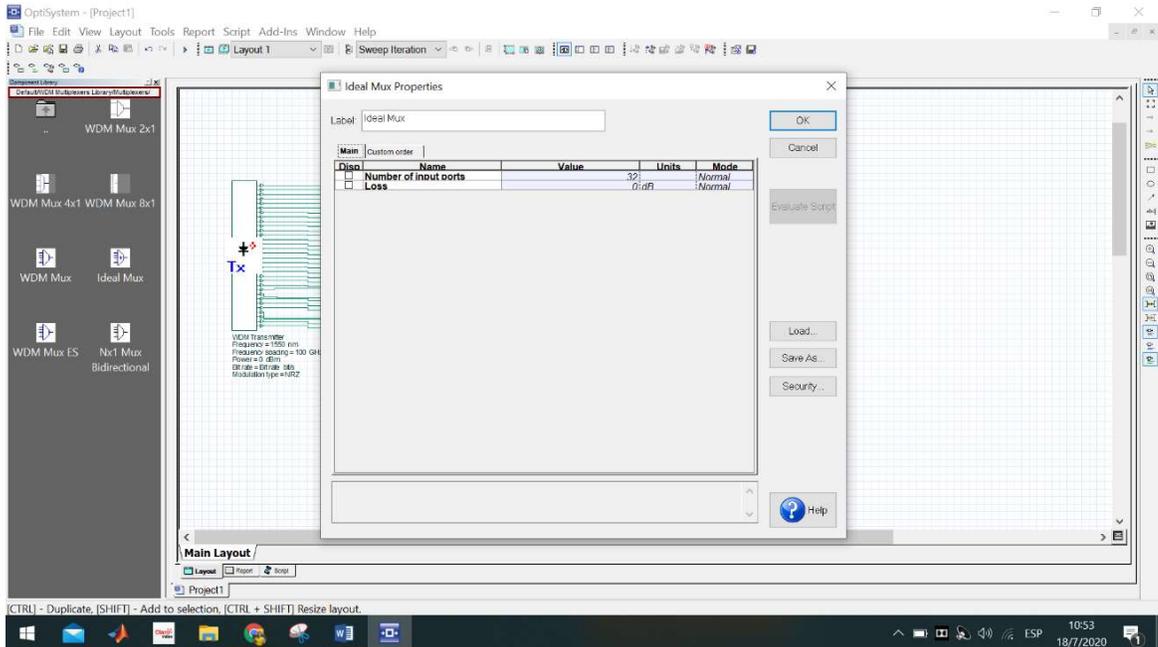


Figura 4.19 Colocación de 32 puertos
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se procede a conectar los dos elementos por medios de los puertos.
Se coloca un analizador para que nos muestre los diferentes valores de los resultados.

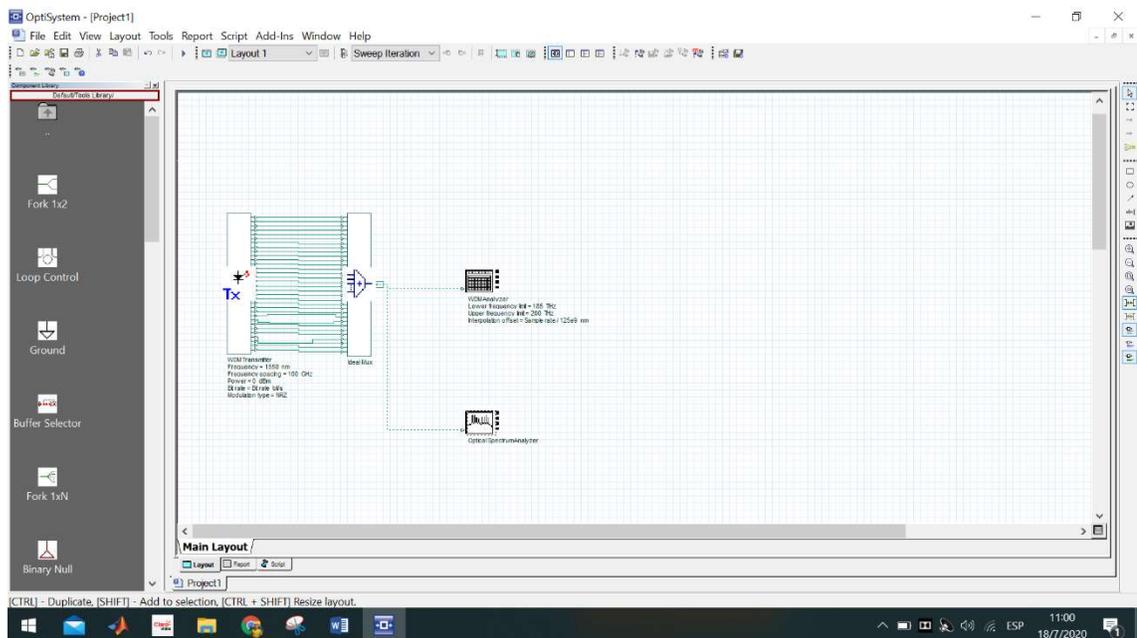


Figura 4.20 Colocación del DWDM Analyzer y el Optical Spectrum Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se realiza la respectiva búsqueda del elemento WDM Demux y se lo arrastra al diseño principal.

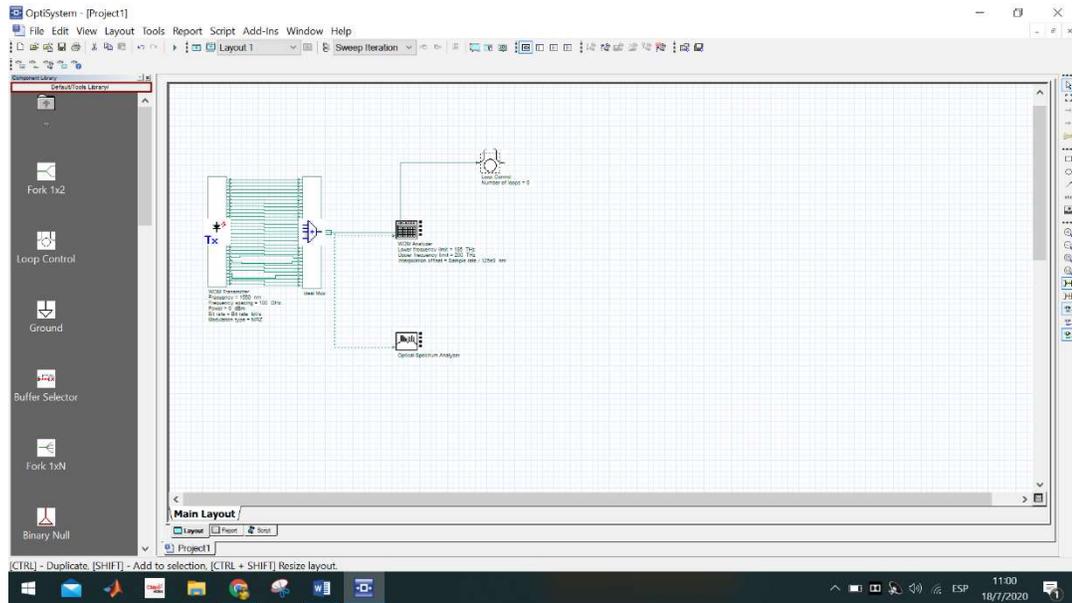


Figura 4.21 Colocación del Loop Control.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se realiza una configuración básica a el elemento WDM Demux dando doble click en el elemento donde se utiliza la frecuencia que sería la longitud de onda y los números de salida de los puertos que serán 32 salidas para los distintos comportamientos en valores, asignando 1550nm de frecuencia y los demás vienen por defecto.

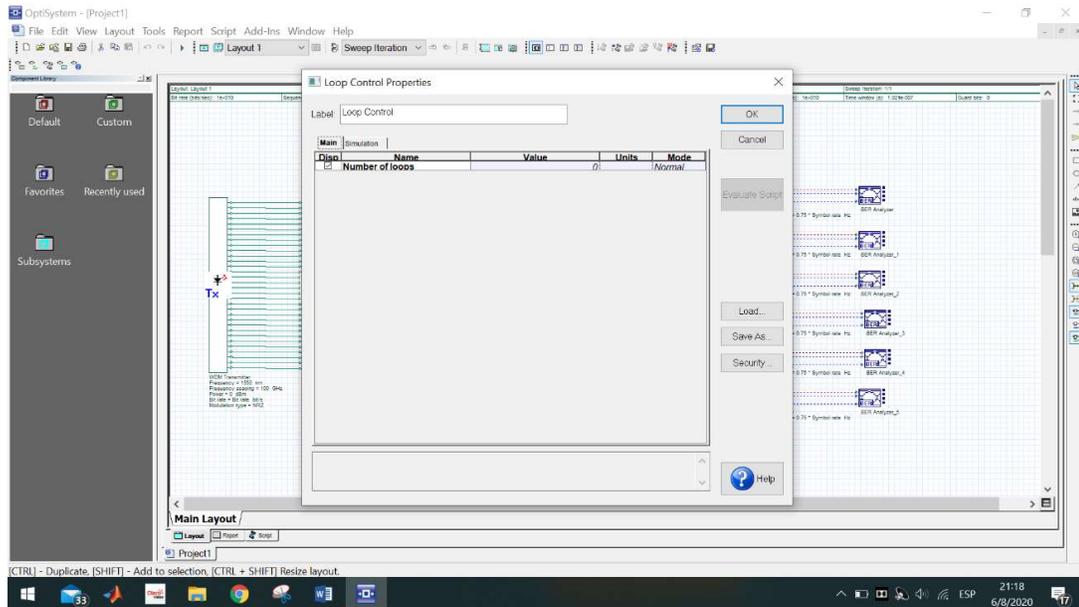


Figura 4.22 Loop control en 0
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se realiza la respectiva búsqueda del elemento Optical receiver y se lo arrastra al diseño principal lo cual va a ser nuestro receptor después de haber pasado el proceso MUX y DEMUX.

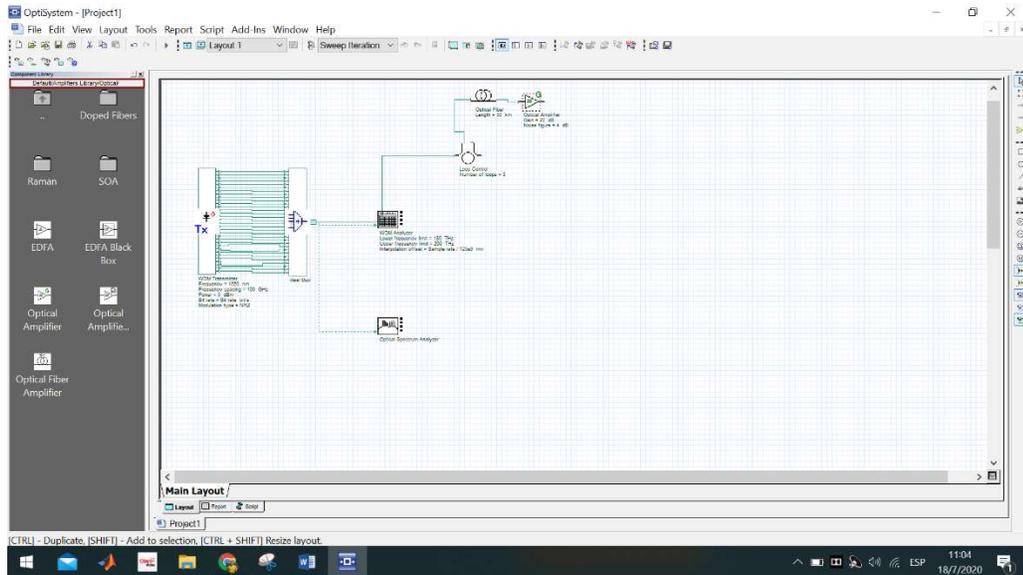


Figura 4.23 Colocación de la fibra Óptica y Amplificador de fibra Óptica
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

En la siguiente imagen se detalla la configuración del amplificador de ganancia el cual es configurado en 10 db, así mismo se configura el Noise figure en 6 db.

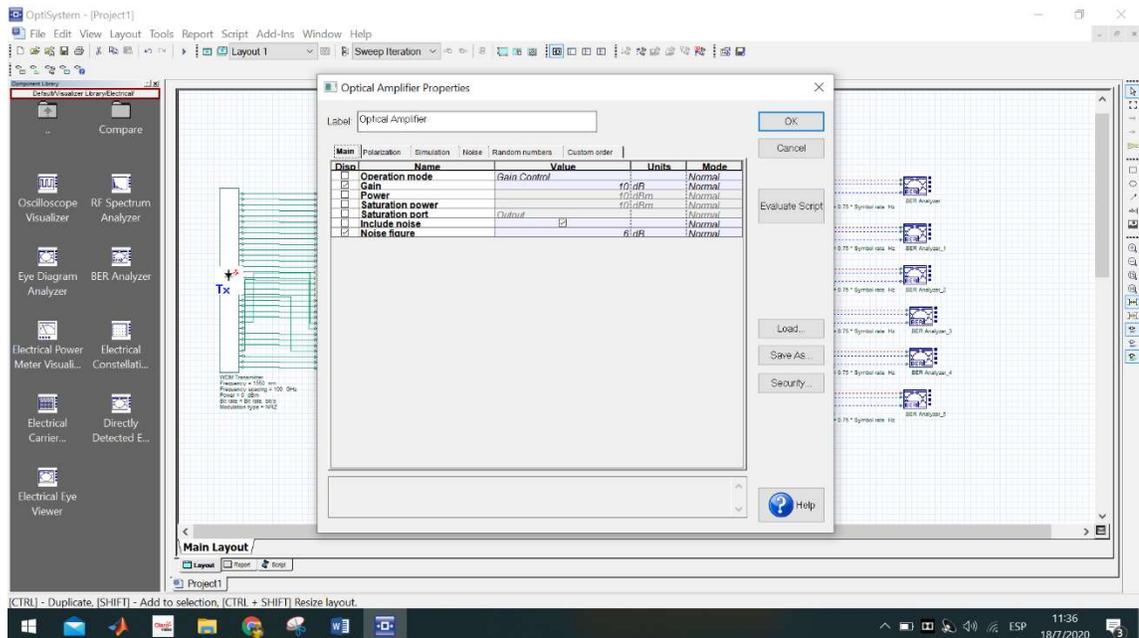


Figura 4.24 Configuración del amplificador la ganancia se pone 10 db y el Noise Figure de 6 db.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

En la siguiente imagen se detalla la configuración de la fibra óptica, el amplificador y el demux DWDM.

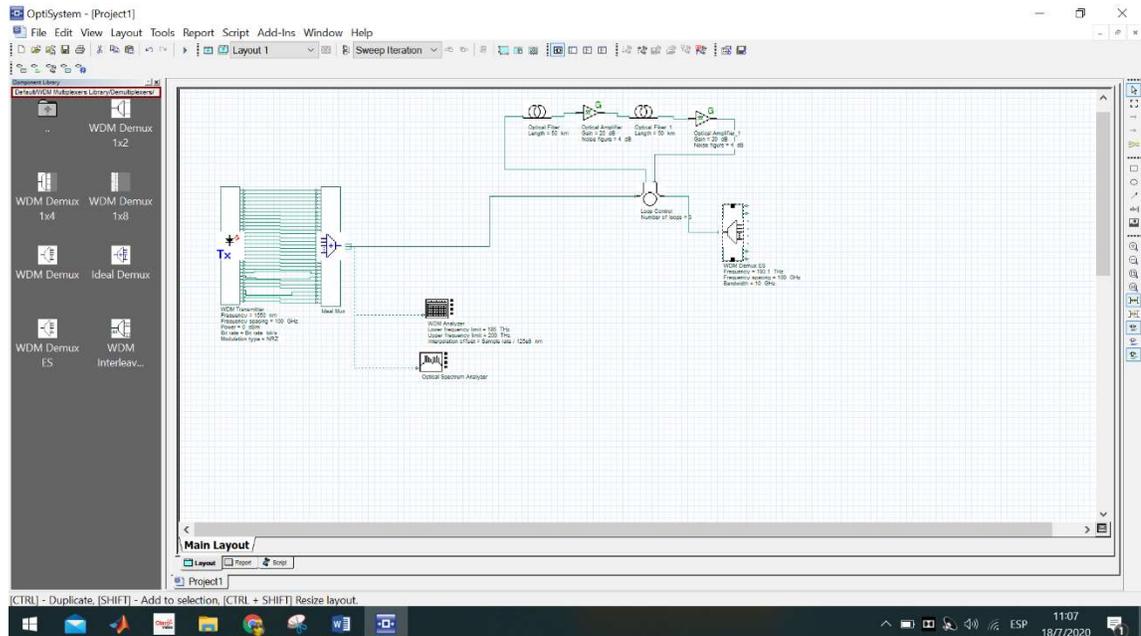


Figura 4.25 Colocación nuevamente de la fibra Óptica, un nuevo amplificador y un DWDM Demux.

Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

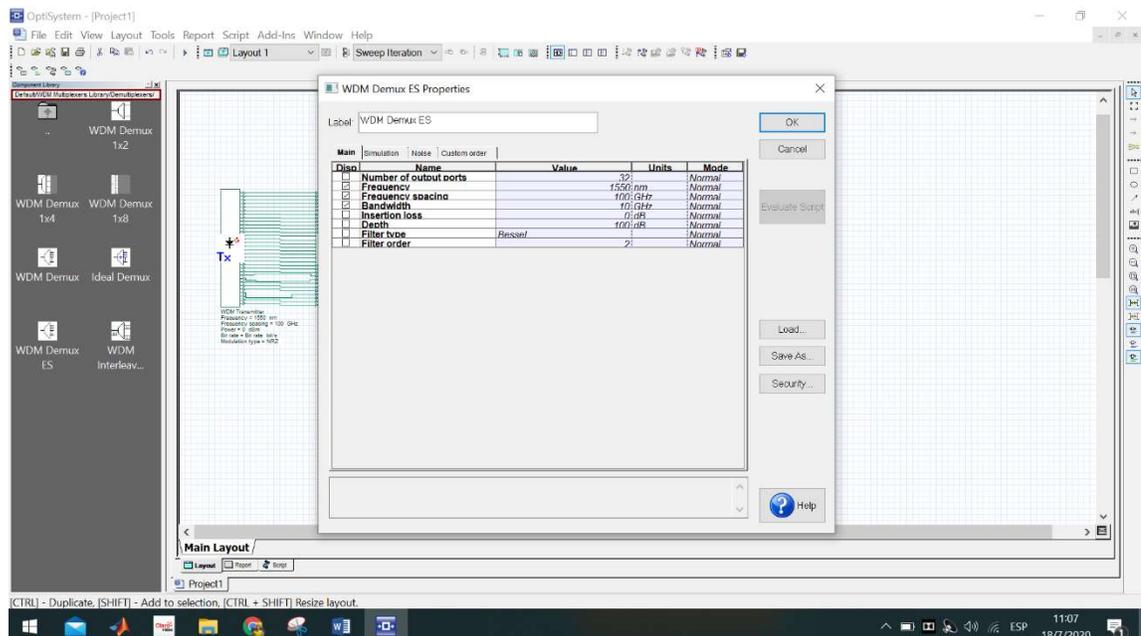


Figura 4.26 Configuración del DWDM Demux el cual se coloca 32 puertos y la frecuencia 1550 nm.

Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se realiza la respectiva búsqueda del elemento BER Analyzer y se lo arrastra al diseño principal.

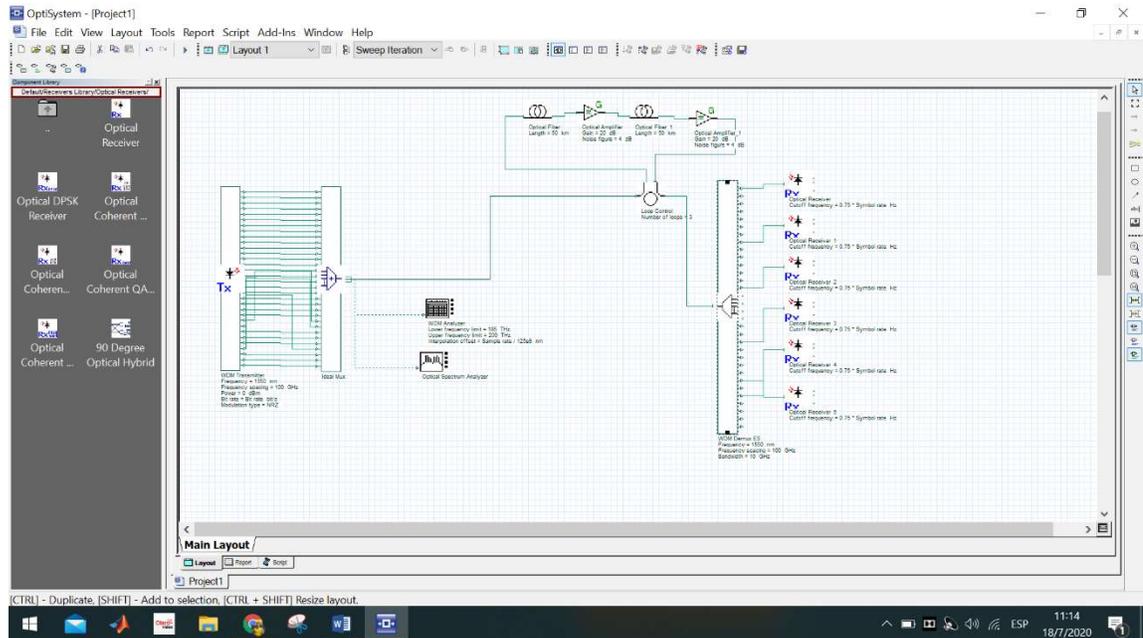


Figura 4.27 Colocación y conexión del Optical Receiver
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se procede a colocar 6 Optical Receiver y 6 BER receiver, se realiza la respectiva conexión entre ellos para observar las distintas longitudes de onda.

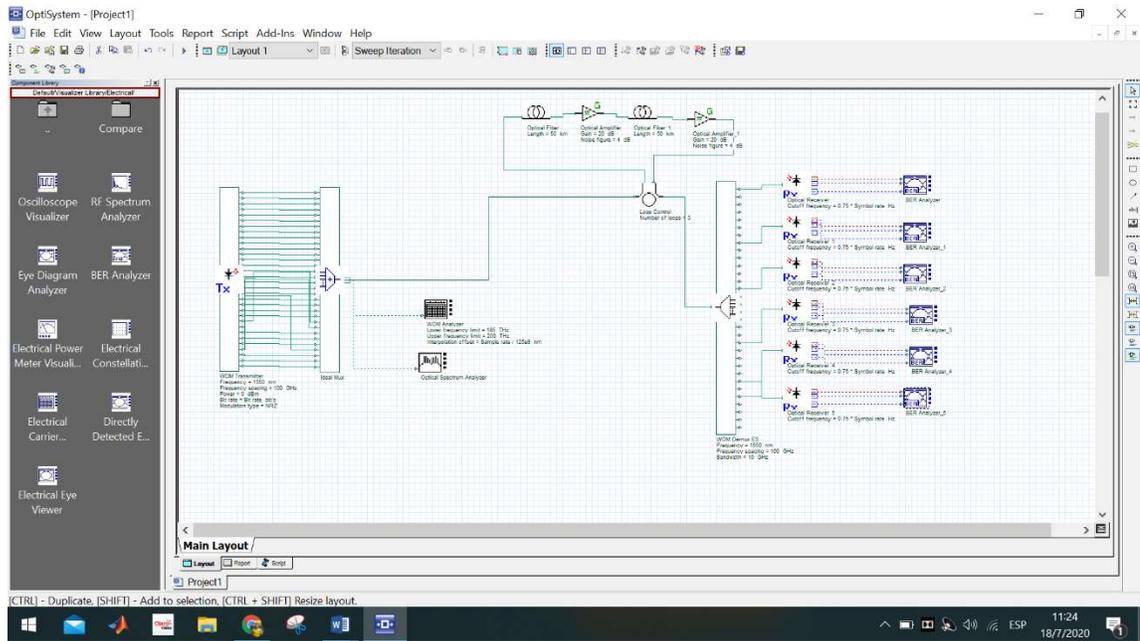


Figura 4.28 Colocación y conexión del BER Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Se procede a colocar un ber analizador para conectarlo con una de las salidas del WDM Demux

Después de tener todo conectado y armado se da click en calculate se espera unos segundos para que termine el proceso de la compilación, como podemos ver en los diferentes puertos varía la salida de la señal de la luz para ver el comportamiento de la longitud de onda.

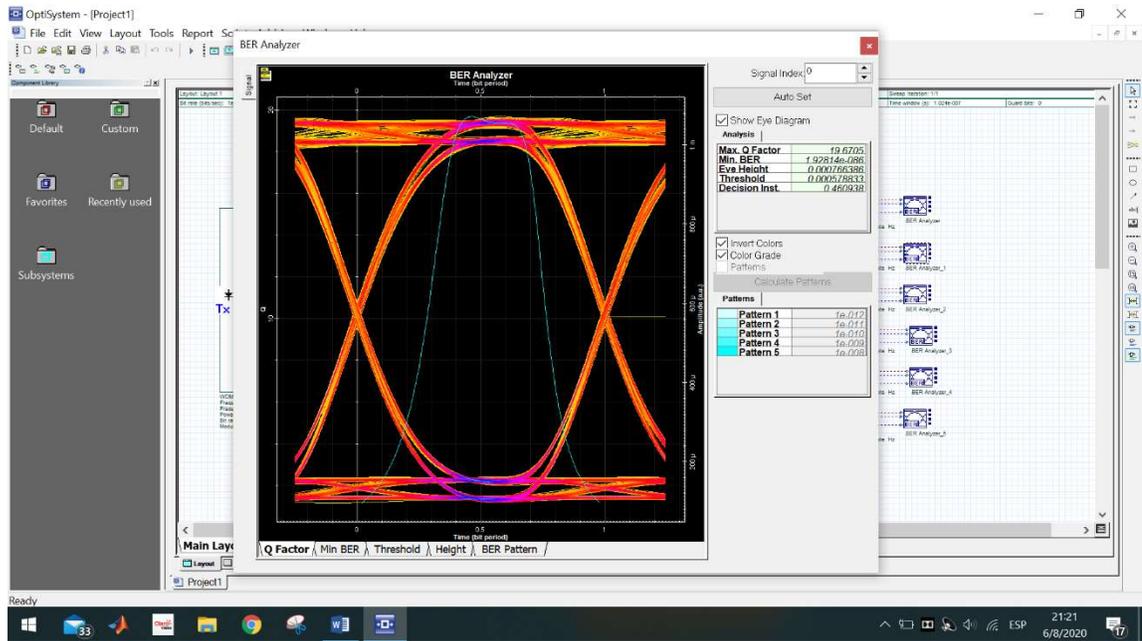


Figura 4.29 Resultado de la gráfica en el Q Factor del BER Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

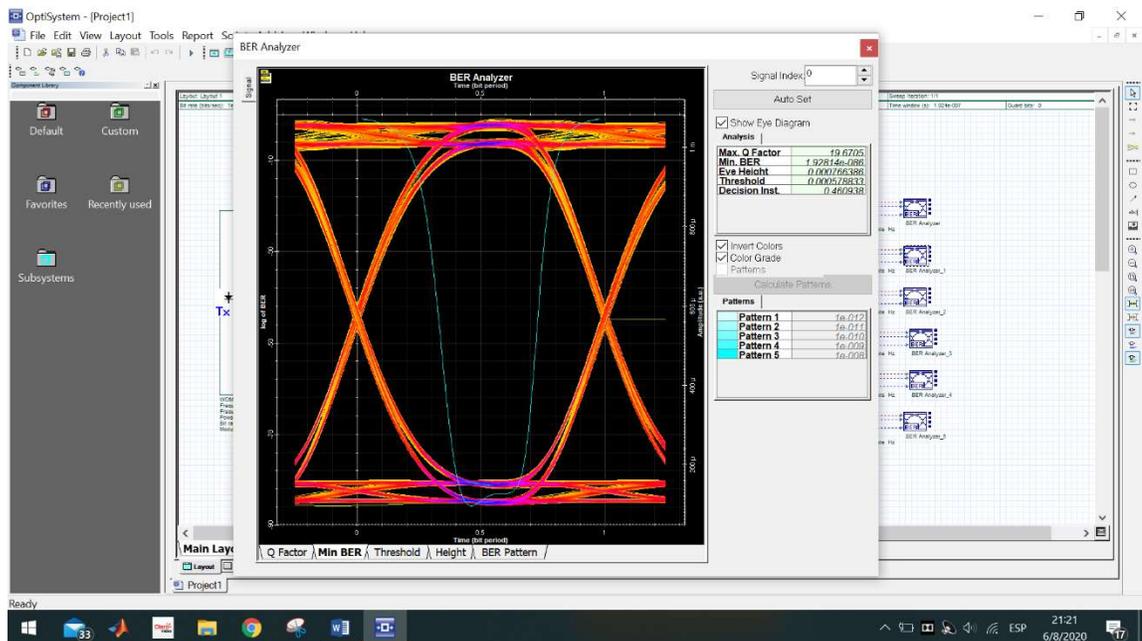


Figura 4.30 Resultado de la gráfica en el Min BER en el BER Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

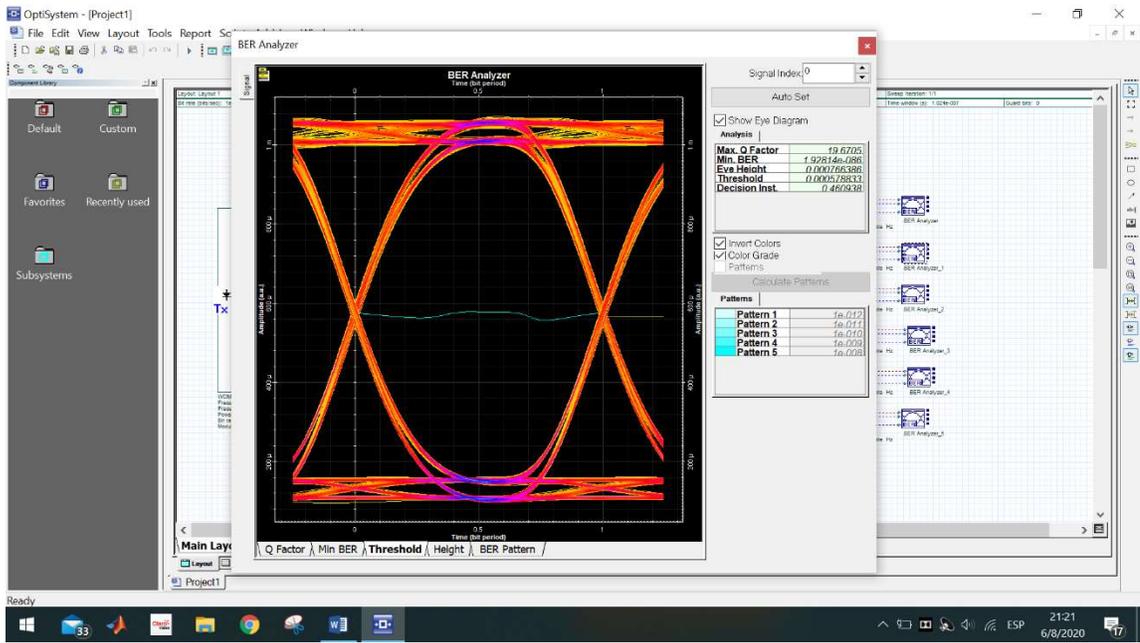


Figura 4.31 Resultado de la gráfica en el Threshold en el BER Analyzer
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

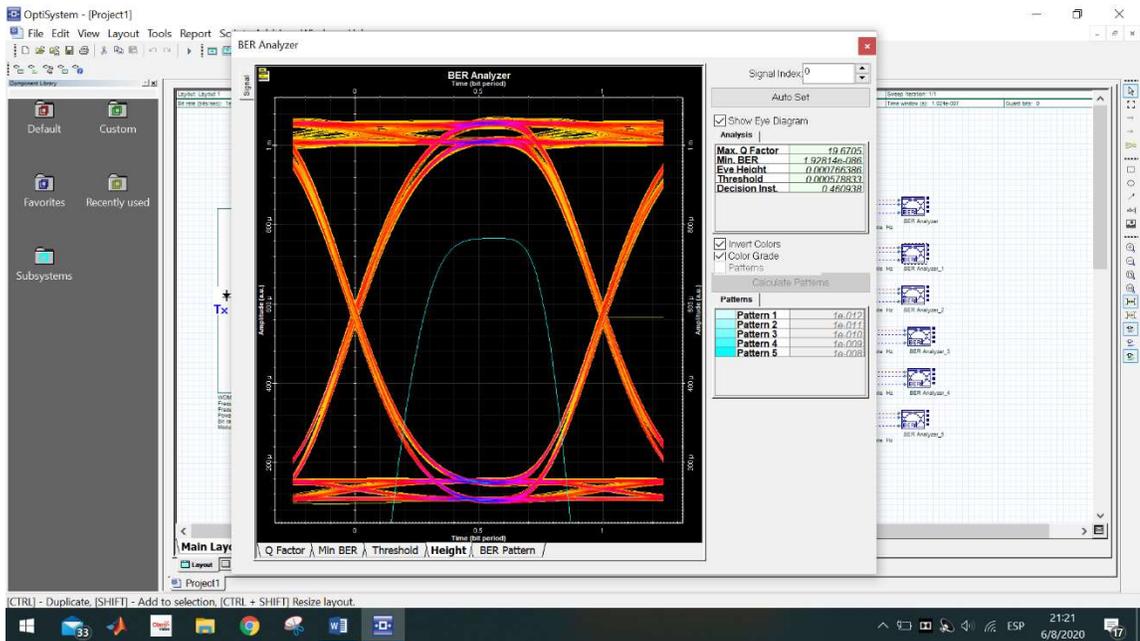


Figura 4.32 Resultado de la gráfica en el BER Pattern en el BER Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

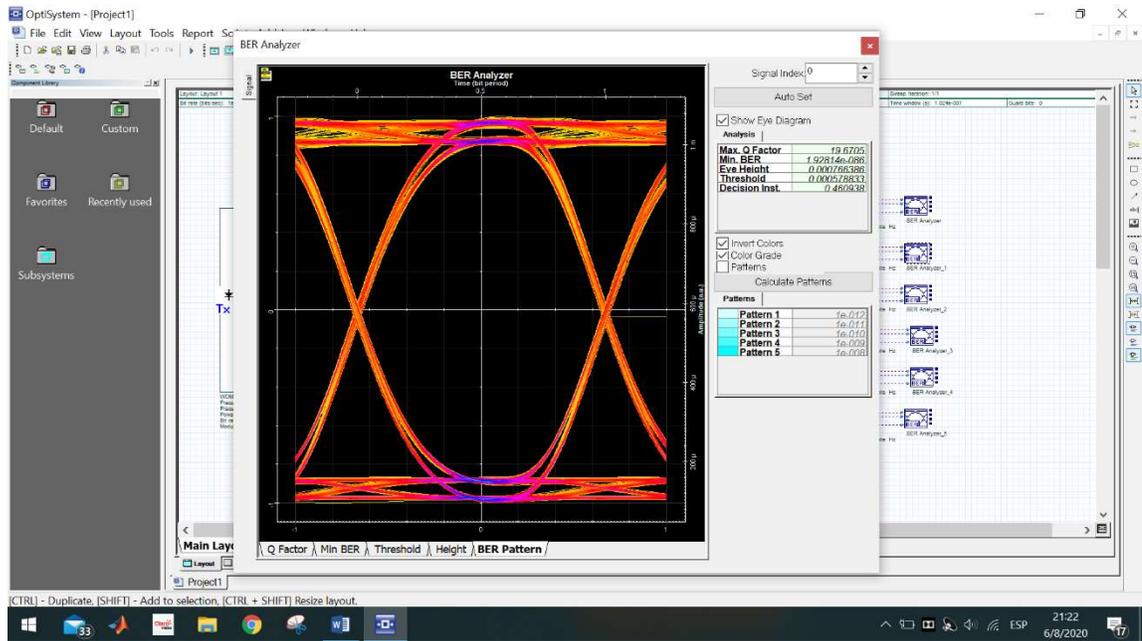


Figura 4.33 Resultado de la gráfica en el Height en el BER Analyzer.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

5. Análisis de resultados

Se pudo validar con las pruebas realizadas en el laboratorio de comunicaciones ópticas de la Universidad Politécnica Salesiana que el módulo multiplexor y demultiplexor DWDM es de fácil aplicación, conexión y funcionamiento.

Adecuado para realizar mediciones y prácticas que servirán para los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Con una correcta conexión se puede realizar las prácticas siempre y cuando se aplique lo que el manual de práctica de los equipos indica.

Con estas pruebas se cumple el objetivo general de este proyecto de investigación, al diseñar e implementar un módulo multiplexor y demultiplexor para el laboratorio de comunicaciones ópticas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

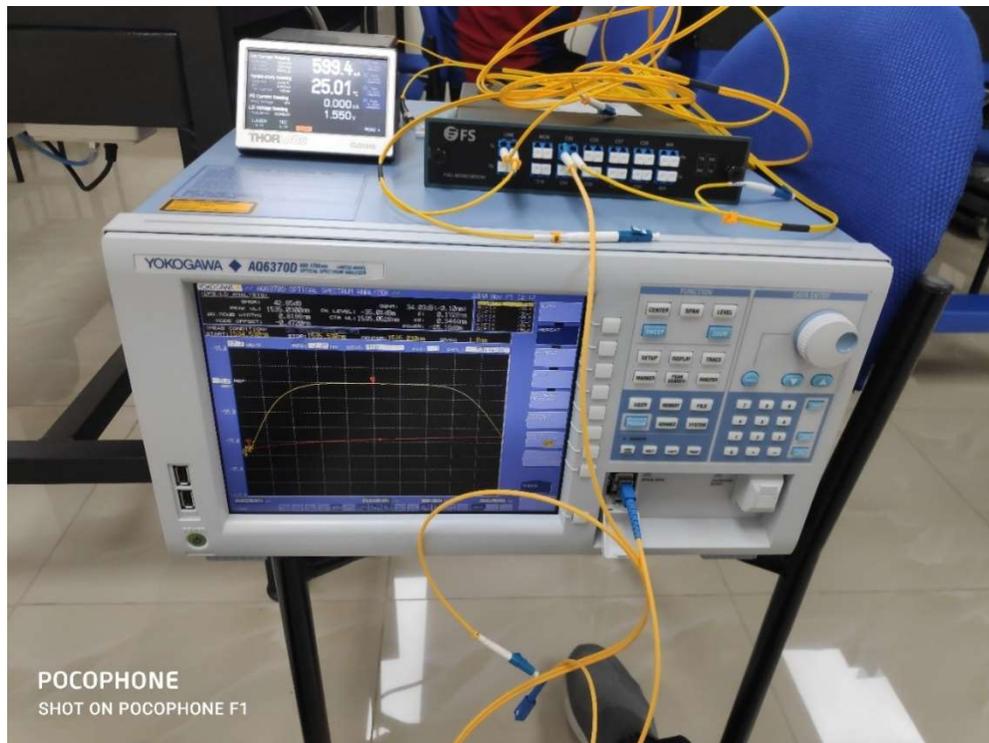


Figura 5.1 Módulo práctico de pruebas DWDM
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

También se cumple los objetivos específicos ya que se analizaron y estudiaron los diferentes elementos que se utiliza en el módulo de pruebas de laboratorio, esto se explica en el apartado de los resultados.

Se realiza análisis del comportamiento de la modulación DWDM mediante el equipo FS DWDM adquirido y que será entregado para las prácticas de los estudiantes.

Se realiza el análisis del comportamiento de la modulación DWDM mediante el Software OptiSystem dando como resultados las gráficas indicadas en el apartado de resultados.

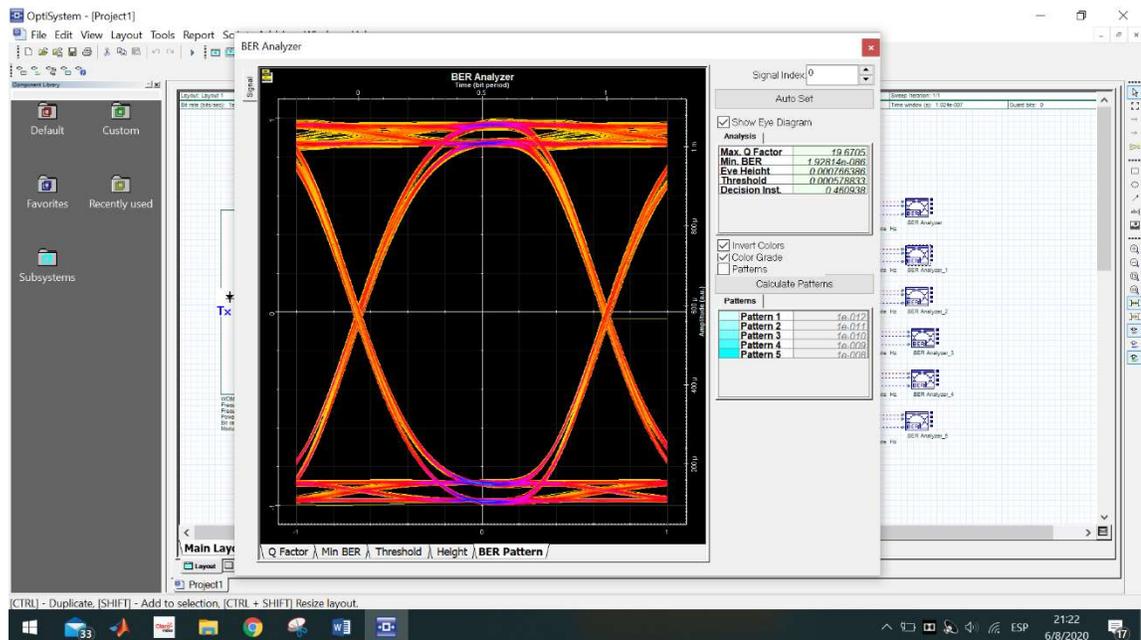


Figura 5.2 Resultados con el software Optisystem.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

Como últimos análisis de los resultados se observan mediante las gráficas del analizador de espectros ópticos las mediciones tomadas que son transmitidas con los equipos de transmisión óptico, el DEMUX y el amplificador óptico.

De igual manera se hacen las comparativas con la simulación a través de Optisystem.



Figura 5.3 Exposición del banco de pruebas DWDM.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)



Figura 5.4 Explicación de la instalación del módulo práctico.
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)



Figura 5.5 Revisión de conexiones del módulo DWDM
Fuente: Cascante O. – Villafuerte J. (2020)

6. Conclusiones

Una vez realizadas las pruebas y análisis en el módulo DWDM MUX DEMUX de Fibra óptica se concluye lo siguiente:

- Con respecto al análisis realizado en la parte física, se consideró las pérdidas para todos los distintos elementos utilizados en la práctica que fueron muy importantes al momento de hacer la comparación, y en la parte digital, no se consideró los diferentes tipos de pérdidas, en los diferentes elementos utilizados, los cuales son muy importantes a la hora de ejecutarlo en el campo.
- Con respecto al análisis comparativo, el cual comparamos resultados tanto de la parte física como en la parte digital, el cual ejecutados por medio del software OPTISYSTEM se llega a la conclusión que una versión de prueba como la que se utilizó en este trabajo de investigación no sería suficiente para el conocimiento de los estudiantes al momento de las prácticas, ya que la licencia de prueba solo dura 30 días.
- Se concluye que, para el análisis desarrollado en el software OPTISYSTEM, es necesario contar con la versión completa para el desarrollo de prácticas confiables, el cual permitirá en los estudiantes adquirir el conocimiento sobre lo todo lo referente a el comportamiento de la longitud de onda de la fibra óptica.
- Con respecto a las pérdidas tanto físicas como digitales tomadas de las prácticas se concluyó, que se podría tomar diferentes escenarios, donde se exploren diferentes tipos de interferencias y el análisis variaría su resultado.
- Definiendo el mejor comportamiento entre físico y digital, se concluyó que el digital es el ideal, ya que un software no sufre los cambios y pérdidas que tiene el sistema real como es la atenuación, los cuales los causantes son los cables, empalmes de cable y conectores. Y la dispersión que es la propagación de la señal con el paso del tiempo.

7. Recomendaciones

- El módulo fue analizado y estudiado para los diferentes elementos de transmisión DWDM y se podría buscar e investigar una nueva forma de complementar el módulo práctico para que pueda realizar otro tipo de análisis más completo. Como, por ejemplo, adquirir otro equipo Multiplexor y Demultiplexor como el que se realizó en este trabajo de investigación, para trabajar con señales diferentes.
- Se recomienda realizar las pruebas en un software libre llamado OPTISYSTEM, pero se podría estudiar un análisis con un software distinto o el mismo en su versión premium para mejor comprensión del estudio de la multiplexación óptica.
- OPTISYSTEM es un software muy útil para el análisis de transmisión por lo tanto se recomienda realizar simulaciones para sistemas DWDM / CWDM o Sistemas FTTx / GPON o redes LAN ópticas, etc.
- Cuando se realizó el análisis comparativo entre las señales digitales y las físicas, se utilizó los resultados del software libre, por lo que se recomienda usar una versión premium u otro programa mejorarían el estudio de eficiencia.
- Se puede tomar diferentes escenarios para el uso y estudio de análisis de señales óptica mediante el módulo DWDM, por lo tanto se recomienda realizar cambios para que se puedan realizar en la práctica y se puede elevar o aminorar los rangos de los resultados encontrados en este trabajo de investigación.

Bibliografía

- Castillo, J. C. M. (2019). Fibra óptica en instalaciones domésticas (FPB Instalaciones de ... - Juan Carlos Martín Castillo - Google Libros. Retrieved January 11, 2021, from 2019 website:
[https://books.google.com.ec/books?id=3VekDwAAQBAJ&pg=PA76&dq=fibra+óptica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiNwaaWzZXuAhUi11kKHTwJDx4Q6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q=fibra óptica&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=3VekDwAAQBAJ&pg=PA76&dq=fibra+óptica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiNwaaWzZXuAhUi11kKHTwJDx4Q6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q=fibra%20%F0%9F%92%20%F0%9F%92&f=false)
- Ferrín, J. C. (2014). *ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE LA UCSG UTILIZANDO TECNOLOGÍA DWDM*.
- Fs.com. (2021). 8CH DWDM Fiber Optic Multiplexer w/ Expansion & 1310nm Port - FS. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.fs.com/products/72433.html>
- <https://www.wiley.com/>. (2021). Fiber-Optic Communication Systems, 4th Edition | Wiley. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.wiley.com/en-us/Fiber+Optic+Communication+Systems%2C+4th+Edition-p-9780470505113>
- IEEE Communications Society, IEEE Photonics Society, Optical Society of America, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), 2015: date 22-26 March 2015*.
- Kinlin, C. (2007). *The Future of Asian Optical Communications; Asian Optical Fiber Communication & Optoelectronic Exposition & Conference 2006*.
<https://doi.org/10.1109/aoe.2006.307308>
- Optiwave.com. (2021). OptiSystem Overview. Retrieved January 12, 2021, from <https://optiwave.com/optisystem-overview/>
- Palma, C., Luis, J., & Carlos Herrera, I. (2020). *ESTUDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA DE MULTIPLEXACIÓN DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) DENTRO DE UN ENLACE QUITO-GUAYAQUIL QUE UTILICE SDH COMO TÉCNICA DE TRANSMISIÓN PARA UNA MEDIANA EMPRESA PORTADORA*.
- Pastor Abellán, D., Ramos Pascual, F., & Capmany Franco, J. (2007). *Sistemas de comunicaciones ópticas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Thorlabs.com. (2021a). Thorlabs - BOA1004P C-Band Booster Optical Amplifier, CWL=1550 nm (Typ.), Butterfly Pkg, PMF, FC/APC. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=BOA1004P>
- Thorlabs.com. (2021b). Thorlabs - CLD1015 Compact LD and Temperature Controller with Mount. Retrieved January 18, 2021, from <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=CLD1015#ad-image-0>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta; P. Hall, Ed.). USA.
- Yokogawa. (2019). Yokogawa. Retrieved from <https://tmi.yokogawa.com/eu/solutions/products/optical-measuring-instruments/optical-time-domain-reflectometer/aq1210-series-optical-time-domain-reflectometer/>
- Yokogawa. (2021). AQ6370D Telecom Optical Spectrum Analyzer 600 - 1700 nm | Yokogawa Test & Measurement Corporation. Retrieved January 12, 2021, from <https://tmi.yokogawa.com/solutions/products/optical-measuring-instruments/optical-spectrum-analyzer/aq6370d-optical-spectrum-analyzer/>
- ZTE. (2021). ZTE - ZTE Official Website | Leading 5G Innovations The world's leading communications service provider. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.zte.com.cn/global/>

Anexos

		GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA		ASIGNATURA:
NRO. PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: USO DEL MÓDULO MULTIPLEXOR Y DEMULTIPLEXOR DWDM
<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Revisar y configurar el módulo multiplexor y demultiplexor DWDM para prácticas de redes de fibra óptica</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibrar analizador de espectros ópticos para uso en el módulo MUX / DEMUX DWDM. • Aprender las configuraciones del analizador de espectros ópticos. • Aprender las configuraciones del amplificador y transmisor óptico. 		
INSTRUCCIONES		1. Armar grupos para el desarrollo de la práctica
		2. Los estudiantes previamente a la práctica deben leer en detalle los manuales de equipos y esta guía de práctica.
		3. Los estudiantes deben usar los equipos y materiales para la práctica de una manera profesional siguiendo las normas del laboratorio y cuidando de los equipos, herramientas, así como los materiales indicados por el docente.
		4. Al finalizar la práctica el grupo de estudiantes debe dejar su sitio en orden y los equipos deben ser guardados en el laboratorio.
<p>PROCEDIMIENTO:</p> <p style="text-align: center;">1) Calibrar el analizador de espectros ópticos</p> <p>Nota: El equipo debe estar al menos una hora encendido para que realice las respectivas funciones y analice de manera eficiente.</p> <p style="text-align: center;">2) Conectar el cable SC APC en la entrada y salida del analizador de espectros ópticos lo cual debe ser la misma línea en este caso se utilizará la línea 2.</p>		

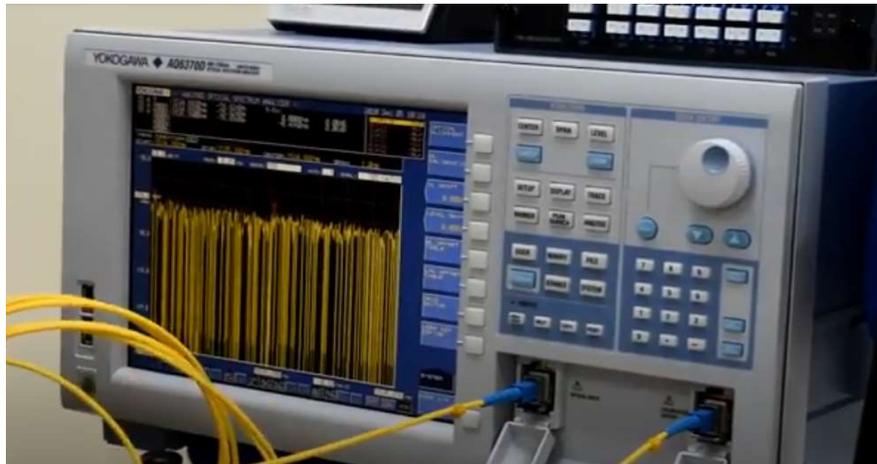


Figura 45. Analizador de espectros ópticos

- 3) Seleccionar la opción “optical aliment” y esperar un momento para que se calibre.

Después de haber terminado la calibración del equipo se procede a retirar el cable para proceder a utilizar el emisor de luz, se realiza posteriormente la conexión a la corriente el cual consta de un seguro en la parte trasera, el mismo que se debe abrir para poder utilizarlo en la salida de la luz.

- 4) Conectar el emisor de luz como un transmisor para poder enviar la luz hacia el MUX DEMUX DWDM y así observar el comportamiento de la gráfica



Figura 46. Transmisor óptico CLD1015



Figura 47. Compact Laser Diode Controller CLD1015

- 5) Conectar del emisor de luz hacia el MUX DEMUX DWDM se utiliza un cable de fibra óptica de LC/UPC – FC/UPC de 3M.



Figura 48. Patchcord de fibra óptica

- 6) Conectar en un extremo del cable FC/UPC al emisor de luz

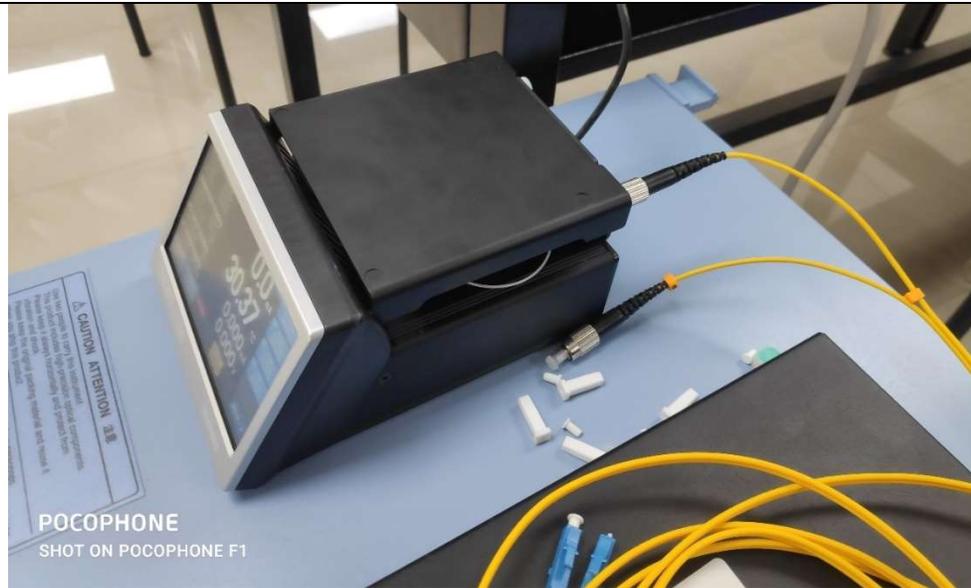


Figura 49. Emisor de luz

- 7) Conectar puerto de LINE en la parte de TX y conectar los extremos del cable y el otro extremo se debe conectar en el mismo puerto LINE pero en la parte de RX para que así pueda trabajar el MUX y DEMUX respectivamente.
- 8) Se realiza la comunicación del emisor de luz, el cual va a ser el transmisor que proporcionará la luz al equipo MUX/DEMUX DWDM.
- 9) Para poder tener comunicaciones se debe utilizar un cable patchcord de fibra óptica con conectores FC a LC, luego de la conexión se procede a enroscar el conector FC en el extremo del emisor de luz y el otro extremo el equipo, se realiza la conexión en el canal C53 adecuado para la recepción.



Figura 50. Módulo DWDM conectado

10) A continuación, para hacer la parte importante del multiplexador y demultiplexador cabe recalcar que el equipo DWDM cumple dos funciones, para hacer la conexión se usa un cable de LC a LC del mismo tipo se procede a retirar los protectores en este caso el cable a y se realiza la conexión en el canal de línea de transmisor al receptor para que pueda hacer la parte MUX y DEMUX.

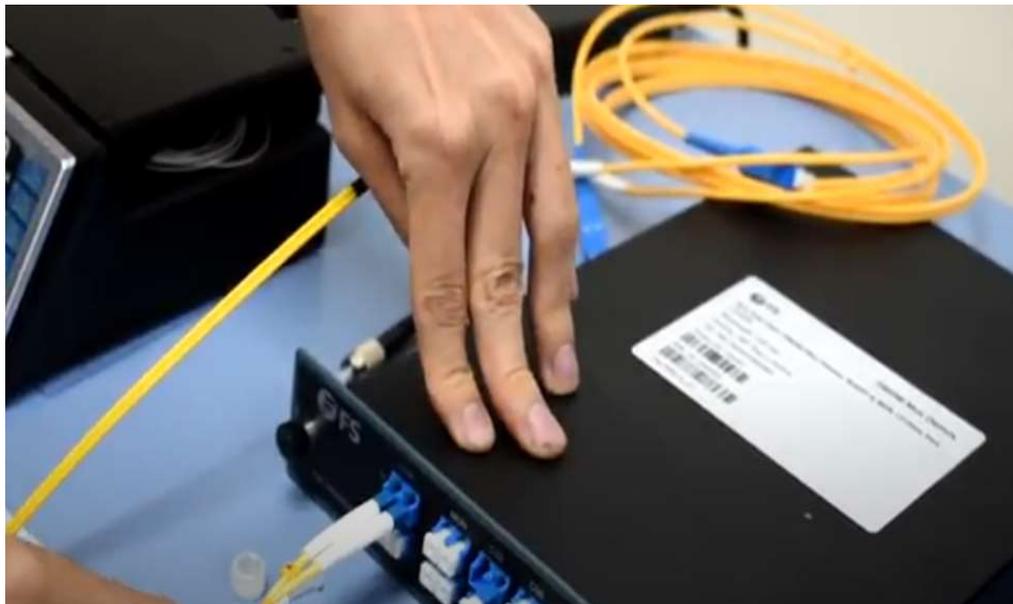


Figura 51. Conexión del equipo DWDM

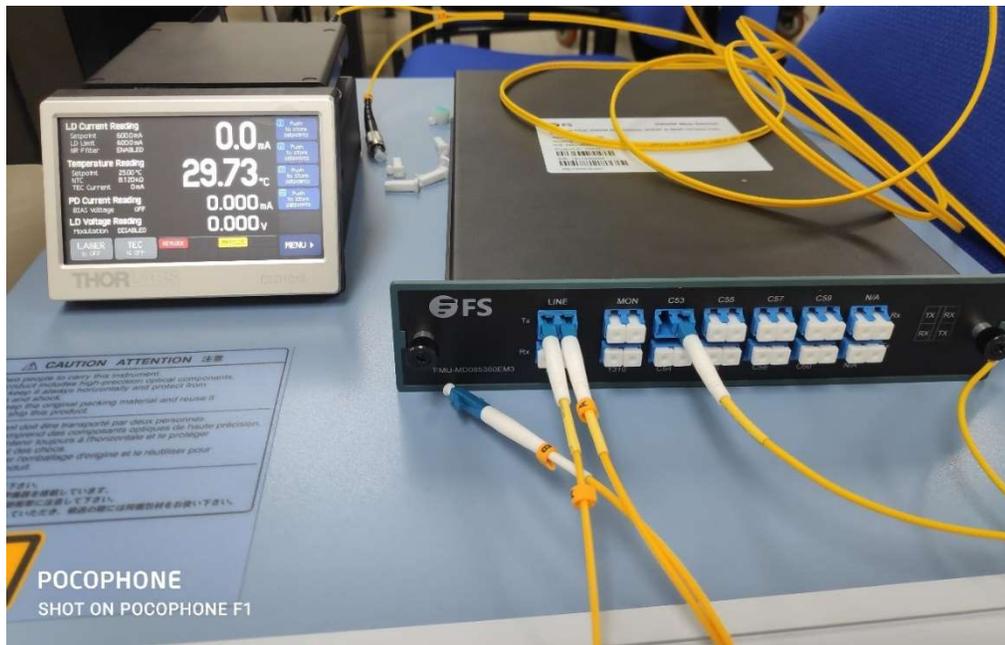


Figura 52. Conexión de equipos

11) Para poder enviar al analizador de espectro necesitamos otro tipo de cable de fibra el cual es LC/UPC – SC/UPC.



Figura 53. Patchcord de fibra óptica adicional para módulo

12) La parte del LC/UPC se debe conectar en la parte de TX en el puerto C53 la cual es la salida después de haber pasado por el MUX y DEMUX del equipo.

- 13) Se procede con la conexión del equipo en conjunto con el analizador de espectros ópticos, este actuará como receptor en el sistema óptico.
- 14) Para realizar la comunicación se requiere un cable de LC a SC entonces se procede a retirar los protectores en este caso el cableado azul se lo conecta en el canal C53 en la parte del transmisor hasta la entrada del analizador de espectro ópticos, después de haber terminado la conexión del equipo para poder ver el comportamiento de longitud de onda se tiene que enviar la luz del emisor al equipo multiplexor y demultiplexor hacia la fibra óptica.



Figura 54. Conexión de patchcord

- 15) En el equipo emisor de luz óptica se realiza la calibración necesaria para el envío de la luz óptica al sistema de comunicaciones ópticas.



Figura 55. Calibración del CLD1015

- 16) La luz se propaga por el cable para poder visualizar la longitud de onda que se debe seleccionar en el analizador de espectro óptico.

- 17) Se selecciona la opción "auto" para observar el comportamiento de la longitud de onda, en este caso se observa que existe un salto de -45dbm con lo cual se realiza la comparación del comportamiento de longitud de onda.

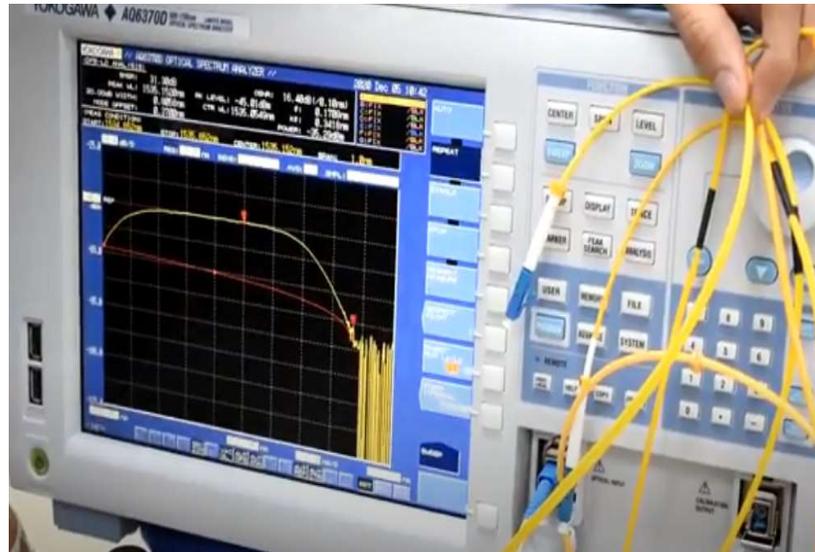


Figura 56. Visualización del espectro óptico

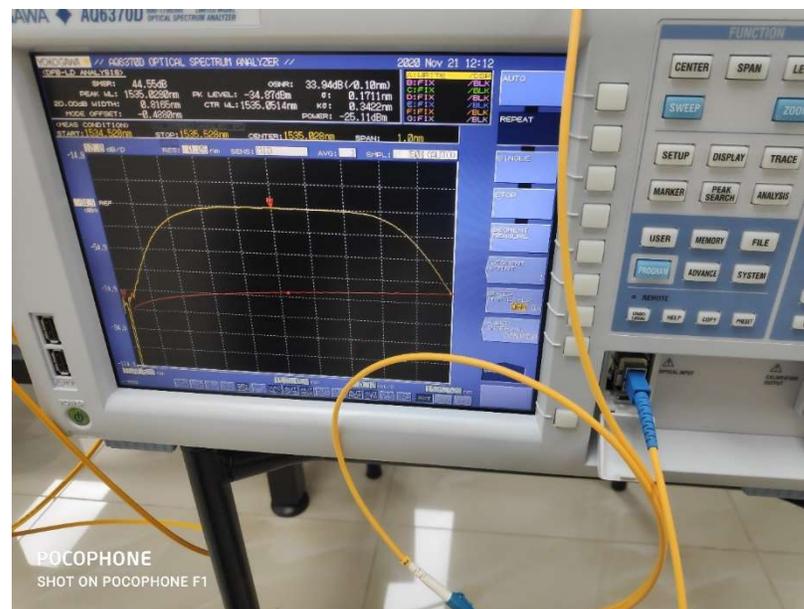


Figura 57. Pruebas de mediciones

- 18) Circuito final en la parte física para poder analizar la gráfica y así ver la diferencia con la parte simulada mediante software OptiSystem.

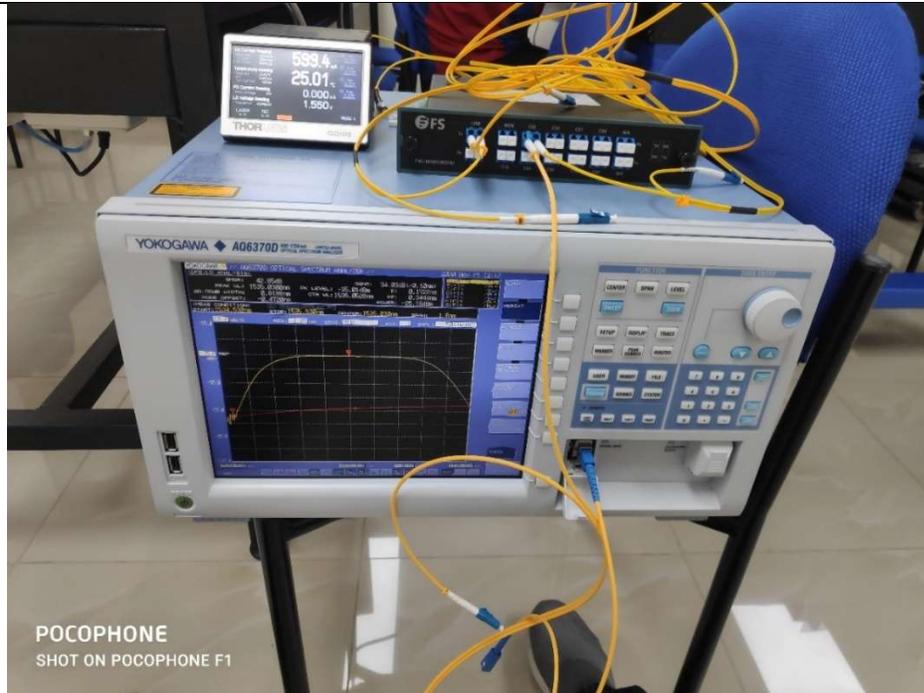


Figura 58. Módulo práctico DWDM

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

El estudiante debe colocar los resultados obtenidos en la práctica con imágenes y descripciones de cada imagen

CONCLUSIONES:

El estudiante debe colocar las conclusiones de las prácticas de acuerdo con los objetivos planteados.

RÚBRICA DE REVISIÓN DE PRÁCTICA:

Fecha de realización de la práctica:	
Integrantes del Grupo:	1.- 2.-

	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Observaciones
Calidad, orden, evidencia fotográfica y correcta estructuración del desarrollo de la práctica [30% del puntaje]							
Sustentación correcta de las prácticas [30% del puntaje]							
Conclusiones de las prácticas [40% del puntaje]							
PUNTAJE:							/10