

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO(A)
EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

TEMA:

**APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM EN LA ASIGNATURA
DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

ALUMNOS:

Verónica Elizabeth Vega Valdiviezo

Natalia Vanessa Romero García

DIRECTOR:

ING. MANUEL ROMERO PAZ



TESIS DE GRADO

“APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES”

**Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería en
Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**

REALIZADO POR:

Verónica Elizabeth Vega Valdiviezo

Natalia Vanessa Romero García

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial

Ing. Manuel Romero Paz

Director de Tesis

Ing.....

Vocal

Ing.....

Vocal

Ing. Héctor Cedeño Abad

Decano de la Facultad

Ing. Manuel Romero Paz

Director de Carrera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el proyecto de grado titulado “APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES” desarrollado por Verónica Elizabeth Vega Valdiviezo y Natalia Vanessa Romero García fue realizado, corregido y terminado, razón por la cual está apto para su presentación y sustentación.

Ing. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

“Mas a Dios gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús, y por medio de nosotros manifiesta en todo lugar el olor de su conocimiento.” 2º Corintios 2:14.

Agradecemos primeramente a Dios por habernos dado la fortaleza y sabiduría espiritual para realizar este trabajo. Agradecemos a nuestros padres que con su ayuda espiritual, moral, económica y sus sabios consejos han sabido guiarnos por el camino del bien y así llegar a convertirnos en profesionales útiles a la sociedad y por ende a la patria, a nuestro tutor que apporto grandemente en nuestro proyecto compartiendo con nosotros sus experiencias y conocimientos intelectuales.

A las autoridades, personal docente, administrativo de nuestra querida universidad por permitir exitosamente la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

“Ninguno tenga en poco tu juventud, sino sé ejemplo de los creyentes en palabra, conducta, amor, espíritu, fe y pureza.” 1era Timoteo 4:12.

Dedicamos este proyecto a nuestros padres cuyo amor y ejemplo de abnegación sublime han sido pilar fundamental en la formación de nuestras vidas universitaria, a nuestros hermanos, familiares y amigos por ese apoyo incondicional que nos dieron en su debido momento los cuales nos ayudaron con sus experiencias y consejos a cumplir nuestras metas y convertirnos en personas de éxito.

A nuestro tutor por ayudarnos a realizar un trabajo digno que sirva de ejemplo a las generaciones venideras como una guía en el camino de la superación como Ingenieros en Telecomunicaciones.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se muestra los aspectos primordiales vinculados con la evaluación y análisis para realizar un diagnóstico de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), que permita determinar la inserción en su programa de enseñanza-aprendizaje de prácticas para los estudiantes de dicha materia como complemento de las clases teóricas impartidas y previo a la realización de las pasantías pre-profesionales que en esa área podrían realizar los estudiantes para culminar sus estudios. Debido a que en la actualidad el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad Técnica no cuenta con el equipamiento, los materiales y herramientas para poder realizar dichas prácticas y debido a su alto costo no podrán ser adquiridos en un futuro cercano, en este trabajo se analizará la posibilidad de realizar tales prácticas mediante un programa de simulación especializado en esta tecnología. Para cumplir este propósito en el capítulo 1 se presenta los antecedentes, la justificación, se determina el problema a resolverse en este proyecto y la hipótesis con la posible solución del mismo. En el capítulo 2 dentro del marco teórico se detalla los fundamentos de los sistemas de fibra óptica. Para poder desarrollar las prácticas necesarias para la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica se ha escogido el programa de simulación OPTSIM, cuyos fundamentos básicos se presentan en el capítulo 3. En el capítulo 4 se detallan las prácticas que se han desarrollado para ser implementadas en el programa de la asignatura. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones determinadas durante la realización de este trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	GENERALIDADES.....	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	ANTECEDENTES.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.5	HIPOTESIS.....	5
1.6	OBJETIVOS.....	5
1.6.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPITULO 2	SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA.....	6
2.1	CONCEPTO DE TRANSMISIÓN.....	7
2.2	DEFINICIÓN DE FIBRA ÓPTICA.....	9
2.3	DIMENSIONES Y PESO	10
2.4	ATENUACIÓN.....	11
2.5	DISPERSIÓN.....	11
2.6	DISTANCIA UMBRAL.....	13
2.7	PARÁMETROS DE UNA FIBRA ÓPTICA.....	13
2.8	CURVADO.....	14
2.9	COMPONENTES Y TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	15
2.9.1	COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA.....	15
2.9.2	TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	16
2.9.2.1	Fibra multimodal.....	16
2.9.2.2	Fibra multimodal con índice gradual.....	17
2.9.2.3	Fibra monomodal.....	17
2.10	BLOQUES PRINCIPALES DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES DE FIBRA ÓPTICA.....	18
2.10.1	EMISOR ÓPTICO.....	19
2.10.2	FUENTES ÓPTICAS.....	20

2.10.2.1	Clasificación de los LED.....	20
2.10.2.2	Clasificación del laser.....	20
2.10.3	MODULACIÓN.....	21
2.10.4	DETECTORES ÓPTICOS.....	22
2.11	VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	22
2.12	DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	23
2.13	COMPARACIÓN CON OTROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	24
2.14	APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA.....	25
 CAPITULO 3 PROGRAMA DE SIMULACION OPTSIM.....		26
3.1	AMBIENTE OPTSIM.....	26
3.2	NUEVO PROYECTO.....	27
3.2.1	ÁRBOL DE DIRECTORIO.....	27
3.2.2	CREAR UN NUEVO PROYECTO.....	28
3.3	PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.....	29
3.4	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.....	31
3.4.1	SECCIÓN DEL TRANSMISOR.....	31
3.4.1.1	Diseñar la sección del Transmisor.....	31
3.4.1.2	Configuración de los parámetros para el Componente del Laser.....	33
3.4.1.3	Configuración de los parámetros para el componente del Modulador de amplitud.....	34
3.4.1.4	Configuración de los parámetros para el componente de la fuente de datos digitales.....	35
3.4.1.5	Configuración de los parámetros para el Componente Eléctrico del Conductor.....	35
3.4.1.6	Dibujar las conexiones de la sección del Transmisor.....	36
3.4.2	EL ACOPLAMIENTO ÓPTICO.....	37
3.4.2.1	Dibujar la sección del Acoplamiento Óptico.....	37
3.4.2.2	Parámetros Intrínsecos del tipo de fibra.	40
3.4.3	SECCIÓN DEL RECEPTOR.....	41
3.5	COMPONENTES MEDIDORES.....	43
3.6	CONEXIÓN DE LAS TRES SECCIONES.....	45
3.7	SIMULACIÓN DEL DISEÑO.....	46

3.7.1	SIMULACIÓN SPT.....	46
3.7.1.1	Chequeo de errores del SPT.....	46
3.7.1.2	Iniciar simulación del SPT.....	46
3.7.2	SIMULACIÓN DE VBS.....	47
3.7.2.1	Comenzar el chequeo de VBS.....	47
3.7.2.2	Iniciar una simulación de VBS.....	48
3.8	INICIAR LA HERRAMIENTA DE EXHIBICIÓN DE DATOS.....	49
3.8.1	AMPLIAR LOS SUBNIVELES.....	49
3.8.2	EVALUAR EL FACTOR Q Y LA APERTURA DEL OJO.....	51
3.8.3	MOSTRAR EL ESPECTRO ÓPTICO.....	52
3.9	APLICACIONES DE OPTSIM.....	53

**CAPITULO 4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM
EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE
FIBRA ÓPTICA.....55**

4.1	PROGRAMA ACTUAL DE LA ASIGNATURA.....	55
4.2	SYLLABUS DE LA ASIGNATURA.....	56
4.3	PRÁCTICAS RECOMENDADAS.....	59
4.3.1	PRÁCTICA # 1: SIMULACIÓN DE UN CANAL SIMPLE DE 10 GBPS.....	60
4.3.1.1	Desarrollo de la práctica.....	60
4.3.2	PRÁCTICA # 2: MEDIDA DE LA DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.....	68
4.3.2.1	Desarrollo de la práctica.....	69
4.3.3	PRÁCTICA # 3: COMPENSACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LA FIBRA.....	73
4.3.3.1	Desarrollo de la práctica.....	73
4.3.4	PRÁCTICA # 4: BER (TASA DE BITS ERRÓNEOS)	81
4.3.4.1	Desarrollo de la práctica.....	81

4.3.5	PRÁCTICA # 5: FUENTE OPTICA MQW DE UN SISTEMA DE TRANSMIÓN DE FIBRA ÓPTICA.....	86
4.3.5.1	Desarrollo de la práctica.....	87
4.3.6	PRÁCTICA # 6: CÓMO UTILIZAR EL COMPONENTE DE SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR.....	93
4.3.6.1	Desarrollo de la práctica.....	93
4.4	INSERCIÓN DE LAS PRACTICAS RECOMENDADAS EN EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA.....	98
4.5	INSERCIÓN DE LAS PRÁCTICAS RECOMENDADAS EN EL SYLLABUS DE LA ASIGNATURA.....	99
	CONCLUSIONES.....	104
	RECOMENDACIONES.....	105
	GLOSARIO.....	106
	BIBLIOGRAFÍA.....	108

INDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO 2 SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

Figura 2.1	Sistema básico de Transmisión por Fibra Óptica.....	9
Figura 2.2	Conductor Óptico.....	9
Figura 2.3	Hilos de fibra óptica.....	10
Figura 2.4	Dimensiones de un hilo de Fibra Óptica.....	10
Figura 2.5	Distorsión causada por la dispersión en tramos de fibra óptica.....	11
Figura 2.6	Transmisión de Señales con Dispersión.....	12
Figura 2.7	Cono de aceptación un hilo de fibra óptica.....	14
Figura 2.8	Curvado de la fibra óptica.....	15
Figura 2.9	Componentes de la Fibra Óptica.....	16
Figura 2.10	Fibra multimodal.....	17
Figura 2.11	Fibra multimodal con índice gradual.....	17

Figura 2.12	Tipos de Fibra Óptica.....	18
Figura 2.13	Diagrama de bloques de un sistema de comunicación por fibra óptica.....	18

CAPITULO 3 PROGRAMA DE SIMULACION OPTSIM

Figura 3.1	Ventana de Diálogo de OptSim.	27
Figura 3.2	Árbol de directorio del proyecto.....	28
Figura 3.3	Ventana de dialogo de los Parámetros de Simulación.....	29
Figura 3.4	Componentes nuevos insertados.....	32
Figura 3.5	Ventana de los parámetros del componente láser.....	33
Figura 3.6	Ventana de los parámetros del láser CW Lorentzian.....	34
Figura 3.7	Componentes nuevos insertados y renombrados.....	36
Figura 3.8	Sección del transmisor.....	37
Figura 3.9	Sección del Acoplamiento.....	38
Figura 3.10	Ventana del diálogo de la fibra.....	39
Figura 3.11	Ventana del diálogo para los parámetros intrínsecos de una fibra.....	40
Figura 3.12	Sección del Acoplamiento Óptico.....	41
Figura 3.13	Sección Receptora.....	42
Figura 3.14	Sección del Receptor.....	43
Figura 3.15	Diseño de un Enlace Óptico.....	45
Figura 3.16	Ventana del Estado de la Simulación.....	47
Figura 3.17	Ventana del Diálogo de las opciones de la simulación de VBS.....	48
Figura 3.18	Ventana del estado de la simulación VBS.....	49
Figura 3.19	Ventana de la lista de la medida.....	50
Figura 3.20	Diagrama de Ojo.....	51
Figura 3.21	Espectro de Energía óptico en el OSA de la sección del receptor.....	53

CAPITULO 4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

Figura 4.1	Diagrama de la simulación de un canal simple de 10 Gbps.....	64
Figura 4.2	Espectro Óptico Output de un canal simple de 10 Gbps.....	65
Figura 4.3	Diagrama de ojo de un canal simple de 10 Gbps.....	66

Figura 4.4	BER de un canal simple de 10 Gbps.....	66
Figura 4.5	Factor Q de un canal simple de 10 Gbps.....	67
Figura 4.6	Diagrama del espectro eléctrico en el pre filtrado de la recepción.....	67
Figura 4.7	Diagrama del espectro eléctrico en la recepción del canal simple de 10 Gbps.....	68
Figura 4.8	Medida de la dispersión en la fibra óptica.....	72
Figura 4.9	Diagrama del espectro eléctrico de la dispersión en la fibra óptica.....	72
Figura 4.10	Diagrama de la compensación de la dispersión de la fibra.....	76
Figura 4.11	Diagrama de ojo antes de la compensación.....	77
Figura 4.12	BER antes de la compensación.....	77
Figura 4.13	Factor Q antes de la compensación.....	78
Figura 4.14	Diagrama del espectro eléctrico antes de la compensación.....	78
Figura 4.15	Diagrama de ojo después de la compensación.....	79
Figura 4.16	BER después de la compensación.....	79
Figura 4.17	Factor Q después de la compensación.....	80
Figura 4.18	Diagrama del espectro eléctrico después de la compensación.....	80
Figura 4.19	Diagrama del sistema para medir el BER.....	85
Figura 4.20	Diagrama de ojo para medir el BER.....	85
Figura 4.21	Factor Q del sistema.....	86
Figura 4.22	Diseño de un Sistema óptico usando fuente MQW.....	90
Figura 4.23	Espectro Óptico en la entrada de un Sistema usando fuente MQW.....	91
Figura 4.24	Espectro Óptico en la salida de un Sistema usando fuente MQW.....	91
Figura 4.25	Diagrama de Ojo de un Sistema óptico usando fuente MQW.....	92
Figura 4.26	BER obtenida en un Sistema óptico usando fuente MQW.....	92
Figura 4.27	Factor Q obtenido en un Sistema óptico usando fuente MQW.....	93
Figura 4.28	Diagrama del componente de sensibilidad del receptor.....	96
Figura 4.29	Diagrama de ojo obtenido por la sensibilidad del receptor.....	97
Figura 4.30	BER obtenida por la sensibilidad del receptor.....	97
Figura 4.31	Factor Q obtenido por la sensibilidad del receptor.....	98

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2 SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

Tabla 2.1 Características típicas de los LEDs y los Láseres.....	21
Tabla 2.2 Capacidades de transmisión.....	23
Tabla 2.3 Comparación con los cables coaxiales.....	24

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

En el primer capítulo de este trabajo de investigación se presentan los antecedentes que motivaron la realización de esta tesis y que permitieron determinar el problema y plantear la hipótesis que permitiría encontrar su solución y para lo cual se presenta el objetivo general y las tareas a realizarse para alcanzar el objetivo propuesto.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas y Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), han simplificado la vida de las personas en el campo de la educación, las finanzas, la administración, el trabajo, la comercialización y el entretenimiento; la digitalización de la información permite hablar de grandes volúmenes de información a velocidades instantáneas.

Con los avances tecnológicos, el campo de las telecomunicaciones se ha abierto paso a nuevos horizontes de transmisión como la fibra óptica, que tiene grandes cualidades que ayudan en gran variedad de instalaciones. La fibra óptica tiene una amplia variedad de atractivos tecnológicos, siendo el más importante a considerar el ancho de banda propio de sus transmisiones, además es más confiable en calidad, durabilidad y cambios drásticos del clima, que afectan en especial a otros sistemas como los de microondas o los satelitales. Todas estas características brindan mayor calidad en los sistemas de fibra óptica, además mejoran el índice de rendimiento, otorgándole a las empresas ventajas competitivas para posicionarse en el mercado.

Con el tiempo los sistemas ópticos se han integrado en un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, la computación, los sistemas de televisión por cable, la automatización industrial y la transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución, entre otros.

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones deben prepararse de manera adecuada para que se enfrenten a nuevos retos tecnológicos que se avizoran en el campo laboral, para lo cual contribuir a encaminar y cumplir los objetivos en cuanto a excelencia académica es la meta de este documento.

Este trabajo es una tesis teórica, basada en la investigación de diversas fuentes tanto escritas como virtuales (libros, internet y publicaciones tecnológicas). Lo que se pretende es profundizar en los requerimientos necesarios a tomarse en cuenta en la cátedra de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad Técnica, para que el estudiante por medio del software Optsim de la compañía RSoft Design Group, realice prácticas de simulación de redes ópticas y afiance los conocimientos impartidos en el aula de clase.

Es necesario que los alumnos de esta materia puedan consolidar la teoría y despejar dudas por medio de una herramienta fácil y completa simultáneamente. Entre algunos programas que podrían utilizarse se ha determinado que el simulador Optsim es la herramienta ideal para el diseño de sistemas de comunicación óptica mediante un computador.

Mucho de lo tratado en este documento, servirá a maestros y estudiantes, para mejorar el pensum académico de la materia anteriormente mencionada.

1.2 ANTECEDENTES

En la UCSG se encuentra la Facultad Técnica para el Desarrollo en la cual se dicta la cátedra de Sistemas de Fibra Óptica en el octavo ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, y en la misma se desarrollan temas de análisis y se describen características, ventajas y limitaciones de las comunicaciones por este medio de transmisión.

En la actualidad el contenido de la materia se ha basado únicamente en la teoría, el desarrollo de las clases se ha limitado en actividades como resolución de problemas, trabajos con textos o datos, exposiciones de trabajo, etc.; siendo necesaria la inserción de un componente práctico para que los estudiantes realicen trabajos experimentales en los cuales se organizan actividades presenciales que requieren una participación más activa del estudiante.

Tal es el caso, del software Optsim, de la compañía RSoft Design Group, que permite diseñar y simular sistemas de comunicaciones ópticos para determinar su rendimiento,

permitiendo realizar investigaciones acerca de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Longitud de Onda), DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas), TDM (*Time-division multiplexing*, Multiplexación por División de Tiempo), CATV (*Community Antenna Television*, Televisión por Cable), *Optical*LAN (*Optical Local Area Network*, Red de Área Local Óptica) y otros sistemas.

En la aplicación del Optsim el estudiante se puede familiarizar con los equipos de transmisión y recepción de los sistemas ópticos y conocer el funcionamiento de las herramientas informáticas para poder aplicar los conocimientos teóricos recibidos en la universidad en una comunicación de transmisión real a través de fibra óptica.

La Facultad Técnica cuenta con un Laboratorio de Telecomunicaciones donde se realizan prácticas de algunas disciplinas contempladas dentro del ámbito de las telecomunicaciones, considerando que las prácticas son de suma importancia para el desarrollo del profesional en esta rama, pero en el caso de los sistemas de transmisión por fibra óptica, dicho laboratorio no cuenta con todos los implementos y tecnologías actualizadas para poder brindar a los estudiantes todas la herramientas necesarias para completar su formación.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, ciertas universidades y centros de estudio del país, manejan mayoritariamente el desenvolvimiento de sus materias solo en un estricto campo teórico, dejando a un lado lo aplicativo de las materias dictadas. Permaneciendo con una metodología en la cual se abarcan solo conceptos, imágenes, técnicas y sin aplicación visual o práctica de la cátedra expuesta.

Al encontrarse en este tipo de enfoque, no se logra el entendimiento ideal, llegando así, a un parcial o total desinterés del estudiante lo cual no permite alcanzar el resultado deseado, el desconocimiento de la materia y su importancia en la carrera.

La propuesta de esta tesis consiste en mejorar el desarrollo y comprensión de la materia de Sistemas de Fibra Óptica, basándose en nuevos enfoques didácticos y prácticos, mediante la utilización de un software profesional y sencillo a la vista del estudiante,

denominado Optsim, el cual proporciona una interface sencilla con simulaciones y diseños para las comunicaciones por cables de fibra monomodo y multimodo; brindando modelos de ejercicios y simulación de sistemas de transmisión ópticos, por ejemplo sistemas de redes troncales SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*, Jerarquía Digital Síncrona) o DWDM a fin de alcanzar el éxito a corto y mediano plazo en el entendimiento claro de los sistemas de transmisión óptica en las Telecomunicaciones.

Con los correctos elementos brindados se conjugan y comprometen a una sólida discusión de la materia tanto estudiantes como profesores, llegando a una perspectiva más concreta hacia donde apuntan las tendencias de evolución futura y el gran papel que desempeña en ellas.

Desde el punto de vista técnico el manejo del software expone de manera directa las distintas topologías básicas de redes de datos públicas y privadas de fibra óptica, redes de acceso y las características contenidas en cada una.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación aplica en su desarrollo el método deductivo ya que logra la fusión de la parte teórica de la cátedra con la aplicativa de la misma; logrando así un juicio técnico independiente en torno a las soluciones de Fibra Óptica en las redes de comunicación.

Por otra parte, en cuanto a su alcance, esta investigación abrirá nuevos caminos para el mejoramiento de otras materias dictadas en la Facultad Técnica que presenten situaciones similares a la que aquí se plantea, sirviendo como marco referencial a estas. Por último, profesionalmente, pondrá de manifiesto los conocimientos adquiridos durante la carrera y permitirá sentar las bases para otros estudios que surjan partiendo de la problemática aquí especificada.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica del Octavo Ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones no se cuenta con elementos prácticos sobre esta tecnología para complementar la parte teórica

1.5 HIPÓTESIS

La aplicación de un software que permita simular circuitos, dispositivos y en general cada uno de los elementos que conforman un sistema de comunicación por fibra óptica y obtener resultados de la aplicación de tales sistemas, ofrecería a los estudiantes un acercamiento a la práctica relacionada con esta tecnología, considerando que a la fecha no es posible por parte de la Facultad la implementación de un laboratorio para esta asignatura por el alto costo del mismo.

1.6 OBJETIVOS

A continuación se detalla el objetivo general del proyecto y los objetivos específicos planteados:

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la aplicación del software Optsim en la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica del Octavo Ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones como una solución a la necesidad de insertar un componente práctico en el programa de dicha materia.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Recabar y procesar información referente a programas de simulación en el área de los sistemas de comunicación por fibra óptica.
- 2) Determinar el programa adecuado a utilizarse en la asignatura
- 3) Comprender y utilizar el programa de simulación Optsim
- 4) Determinar las prácticas que podrían utilizarse dentro de la asignatura
- 5) Insertar estas prácticas dentro del programa de la asignatura

En el siguiente capítulo, como parte del marco teórico de este trabajo de investigación, se presentará de una manera detallada los fundamentos de los sistemas de comunicación que utilizan los cables de fibra óptica como medio de transmisión.

CAPITULO 2 SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA

Los sistemas de fibra óptica basan su funcionamiento en el envío de información por medio de rayos de luz. Para lo cual un sistema de este tipo estará constituido de tres elementos básicos:

- Una fuente óptica, que se encarga de convertir los impulsos eléctricos en rayos de luz.
- Un canal óptico que está formado por el cable de fibra óptica por donde la luz circula, y
- Un detector óptico, que transforma la señal luminosa en impulsos eléctricos.

Estos sistemas se caracterizan porque requieren de un medio físico dieléctrico por el cual la información viaja en forma de rayos de luz (ondas electromagnéticas). Además usan transductores para acondicionar la información al transmisor y receptor.

Entre las principales ventajas de los sistemas de fibra óptica se pueden mencionar las siguientes:

- La eliminación de las interferencias electromagnéticas, debido a que se transmite luz en lugar de corriente y voltaje;
- Las pérdidas son mínimas, por lo cual son consideradas como redes confiables que requieren menos mantenimiento.
- Poseen, además un gran ancho de banda, por lo que cuentan con una gran capacidad para transmitir, permitiendo establecer enlaces para distancias mayores a 2 Km y velocidades superiores a 2 Mbps.

Se destaca además el alto nivel de privacidad que brindan estos sistemas, durante la transmisión de los datos.

A pesar de todas las ventajas que presenta, es necesario considerar además las limitaciones de estos sistemas basados en fibra óptica, pues además de depender de un medio físico, se considera compleja la implementación de las derivaciones con fibra, las cuales además introducen atenuaciones.

Por tal motivo, al implementarse el sistema, deberán considerarse algunos parámetros, tales como: mínima distorsión, baja sensibilidad al ambiente, mínima atenuación, tamaño y peso pequeño y costo competitivo.

La falta de homogeneidad en el material del núcleo y las curvaturas a nivel microscópico y macroscópico, son algunas de las causas que introducen atenuación en los pulsos que se propagan en una fibra óptica.

El proceso para el diseño de este tipo de sistemas se detalla a continuación:

- Especificación de los requerimientos del sistema
- Descripción de los requerimientos físicos y del medio ambiente.
- Cálculos de los niveles de potencia óptica.
- Análisis del ancho de banda
- Revisión global del sistema

Los niveles de potencia óptica emitida por la fuente, además del nivel de potencia mínima que puede incidir en el detector y el tipo de fibra óptica dependen de la distancia o ancho de banda de ese sistema. Es justamente por esa razón, que al conocer la topología del sistema y sus componentes, es posible determinar las pérdidas de potencia óptica en cada punto.

2.1 CONCEPTO DE TRANSMISIÓN

Como ya se indicó un sistema de transmisión por fibra óptica está constituido por un transmisor que cumple la función de transformar las ondas electromagnéticas en energía luminosa para luego transportarse por las minúsculas fibras, y en el otro extremo del circuito se ubica un tercer componente denominado detector óptico, el cual transforma la señal óptica o luminosa en energía electromagnética, muy similar a la señal original.

A continuación se detalla en orden los elementos de un sistema básico de transmisión:

- Señal de entrada
- Amplificador
- Fuente de luz
- Conector óptico
- Línea de fibra óptica (primer tramo)
- Empalme
- Línea de fibra óptica (segundo tramo)
- Conector óptico
- Receptor
- Amplificador, y
- Señal de salida.

En el proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transporte de la señal que ha sido generada por el transmisor, el cual puede ser un diodo emisor de luz o un diodo láser. Por tal razón el transmisor óptico se considera el componente activo de este proceso.

Ambos elementos, los diodos emisores de luz y los diodos láser, son fuentes que pueden controlar la salida por medio de una corriente de polarización. Son importantes además, sus características de luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje al que trabajan.

A diferencia un sistema convencional de cables de cobre que se presenta afectado por la atenuación de sus señales, por lo que se requiere de repetidores aproximadamente cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en un sistema de fibra óptica se instala tramos de hasta 70 km. sin tener la necesidad del uso de repetidores, lo cual se refleja en la reducción de gastos. La figura 2.1 muestra el esquema de un sistema típico de comunicación por fibra óptica.

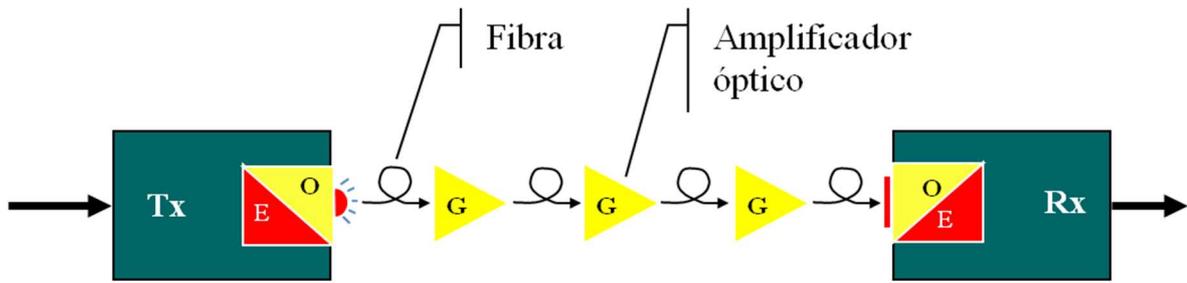


Figura 2.1 Sistema básico de Transmisión por Fibra Óptica

Fuente: Presentación de diapositivas Dr. Arturo Infante Rielo en la Maestría en Telecomunicaciones en la UCSG

2.2 DEFINICIÓN DE FIBRA ÓPTICA

Un hilo de fibra óptica es un filamento de vidrio flexible y delgado de aproximadamente unos 2 a 125 μm (micrómetro), el cual es capaz de transmitir señales luminosas, con una enorme capacidad de transmisión, del orden de miles de millones de bits por segundo.

Este conductor óptico, tiene forma cilíndrica, está constituido por un núcleo (*core*), un recubrimiento (*cladding*), el cual posee propiedades ópticas diferentes al núcleo, y finalmente una cubierta exterior (*coating*), la cual se encarga de absorber los rayos ópticos además le brinda resistencia mecánica frente al medio ambiente. Esta estructura puede observarse en la figura 2.2.

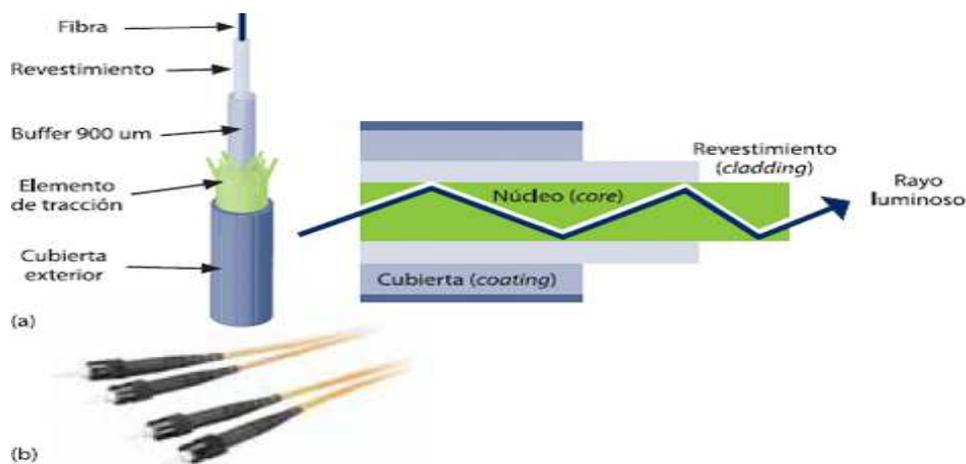


Figura 2.2 Conductor Óptico

Fuente: http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/3/8/fibra-optica-sistemas_22683_6_1.jpg

En la fibra óptica, la señal no se atenúa tanto como en el caso del cobre, de tal manera que se pueden transportar miles de conversaciones simultáneas de voz digitalizada, puesto que en este último caso no se pierde la información por motivos de refracción o dispersión de luz, además, se pueden transmitir varias señales por el mismo cable, con distintas frecuencias para distinguirlas. La figura 2.3 muestra un ejemplo de los hilos de fibra óptica.

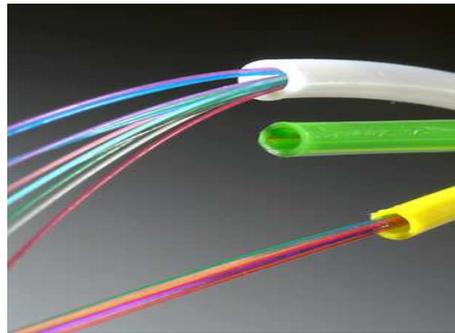


Figura 2.3 Hilos de fibra óptica

Fuente: http://www.telecomaustro.com/imagenes/recursos/fibra_optica2.jpg

2.3 DIMENSIONES Y PESO

Por lo general se caracteriza por poseer un revestimiento de $125\ \mu\text{m}$ de diámetro, y un núcleo mucho más delgado, en la figura 2.4 se presentan las dimensiones de un hilo de fibra óptica. La cantidad de información que puede transmitir este medio es enorme, por ejemplo, una comunicación telefónica que se realiza a través de cables de fibras ópticas alcanzan más de 30.720 llamadas simultáneas.

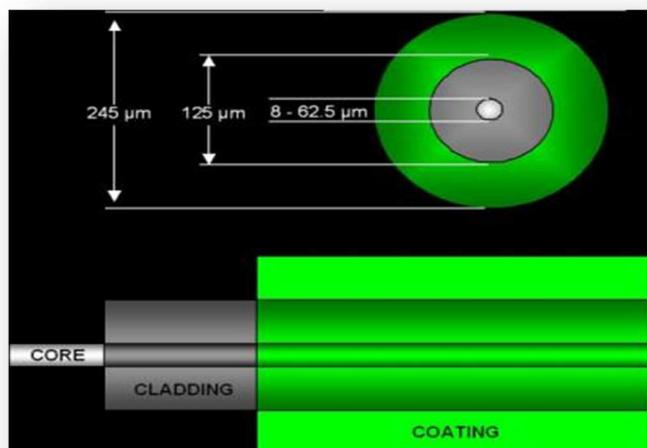


Figura 2.4 Dimensiones de un hilo de Fibra Óptica

Fuente: http://www.fabila.com/proyectos/ftth/imagenes/dibujo_fibra.jpg

2.4 ATENUACIÓN

Al fenómeno de pérdida de luz durante la transmisión se denomina atenuación. Los factores más importantes que influyen son:

- La absorción por los materiales en el interior de la fibra
- La disipación de luz en el exterior del núcleo de la fibra, y
- La acción del factor ambiental produce pérdidas de luz fuera del núcleo

Se mide al comparar la potencia de salida con la potencia de entrada. La atenuación se mide en dB (decibeles) por unidad de longitud, comúnmente en Kilómetros, es decir, (dB/Km).

2.5 DISPERSIÓN

La dispersión se produce por los diferentes tiempos en los cuales se desplaza la señal a través del conductor de fibra óptica, y se refleja en la distorsión de la señal.

En un sistema modulado digitalmente, la dispersión provoca que el pulso recibido se ensanche en el tiempo, como se muestra en la figura 2.5. A pesar de que la dispersión no produce pérdida de potencia, sí disminuye la potencia pico de la señal. La dispersión se expresa en η s (nanosegundos) por kilómetro y se la observa tanto en señales analógicas como digitales.

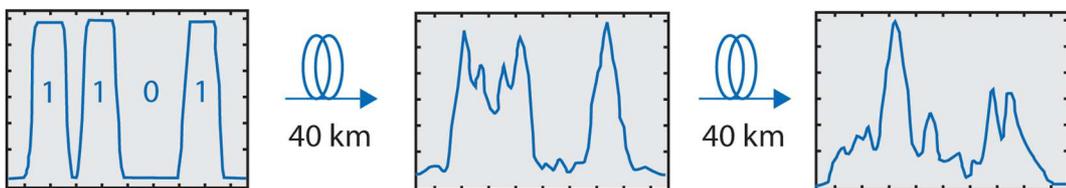


Figura 2.5 Distorsión causada por la dispersión en tramos de fibra óptica

Fuente: http://www.cable360.net/ct/operations/bestpractices/Optical-dispersion_33886.html

Los solapamientos que se producen por la dispersión pueden ser del modo cromático y nodal. Es conocido además como IIS (*Inter Symbol interference*, Interferencia Intersímbolos), y que puede afectar gravemente si se trabaja a altas velocidades. A continuación una breve descripción de los diferentes tipos de dispersión:

- **DISPERSIÓN MODAL:** Producido cuando diferentes rayos o modos viajan por caminos distintos y recorren diferentes distancias.
- **DISPERSIÓN CROMÁTICA:** La luz de diferentes colores viaja a velocidades diferentes.
- **DISPERSIÓN DEL MODO DE POLARIZACIÓN:** Distintos modos cambian su polarización durante el tiempo que viajan en la fibra.
- **RETARDO DIFERENCIAL DE MODO:** Causado por las imperfecciones en el perfil del índice gradual, en los diferentes modos.

En la figura 2.6 se muestra los efectos de la transmisión de una señal con dispersión.

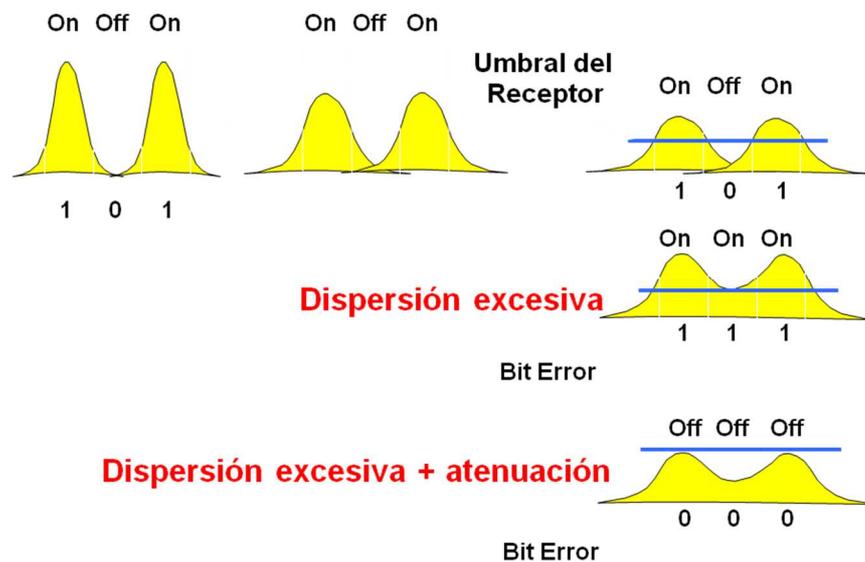


Figura 2.6 Transmisión de Señales con Dispersión

Fuente: Presentación de diapositivas Dr. Arturo Infante Rielo en la Maestría en Telecomunicaciones en la UCSG

2.6 DISTANCIA UMBRAL

Al utilizar fibra óptica como medio de transmisión, se considera que la distancia máxima de alcance dependerá del tipo de fibra.

Un repetidor de fibra, es un equipo que toma una señal de luz y la convierte en eléctrica, luego la regenera y la coloca en un dispositivo emisor de luz, de tal manera que se siga propagando.

2.7 PARÁMETROS DE UNA FIBRA ÓPTICA

Se consideran dos tipos de parámetros: estructurales y de transmisión, los cuales establecen las condiciones para la transmisión de información.

Los parámetros estructurales son los siguientes:

- El perfil de índice de refracción.
- El diámetro del núcleo.
- La habilidad para captar la luz incidente conocida como Apertura Numérica
- El patrón de radiación de la fuente óptica conocido como Cono de Aceptación
- Longitud de onda de corte.

Los parámetros de transmisión son:

- Atenuación.
- Ancho de banda.
- Inmunidad a las Interferencias

En la figura 2.7 se puede observar el cono de aceptación de un hilo de fibra óptica.

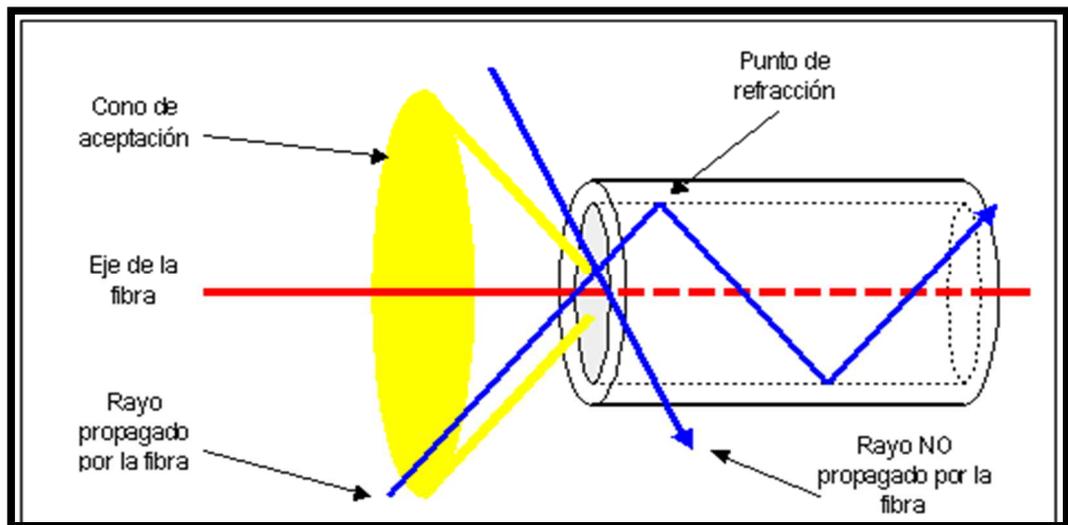


Figura 2.7 Cono de aceptación un hilo de fibra óptica

Fuente: <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Figuras/tema04-fig05.gif>

Este tipo de conductor, a diferencia de los demás, propaga las ondas electromagnéticas en forma de haces de luz, de tal manera que no necesita voltajes ni corrientes, por ello es considerado un medio de comunicación totalmente inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor.

2.8 CURVADO

El curvado de una fibra óptica es producido por dobleces durante la instalación y variación en el cable debido a cambios de temperatura. Se consideran dos tipos de fuerzas, que provocan la torcedura en la fibra, una transversal y otra longitudinal.

Cuando se alarga una fibra, se produce un esfuerzo longitudinal que no provoca torcedura, pero cuando se contrae la fibra, se forman bucles y se curva, dando como resultado un aumento de la pérdida óptica.

Al evaluar los diseños de los cables se debe considerar:

- La carga transversal que deberá soportar la fibra durante el cableado, instalación y utilización.
- El esfuerzo de contracción cuando las temperaturas bajan, como resultado del encogimiento de los elementos del cable de fibra óptica.

Para prevenir que el eje de la fibra pueda curvarse se debe tomar en cuenta que el radio de curvatura depende del radio y la longitud del cable. Ejemplos de curvatura en la figura 2.8.

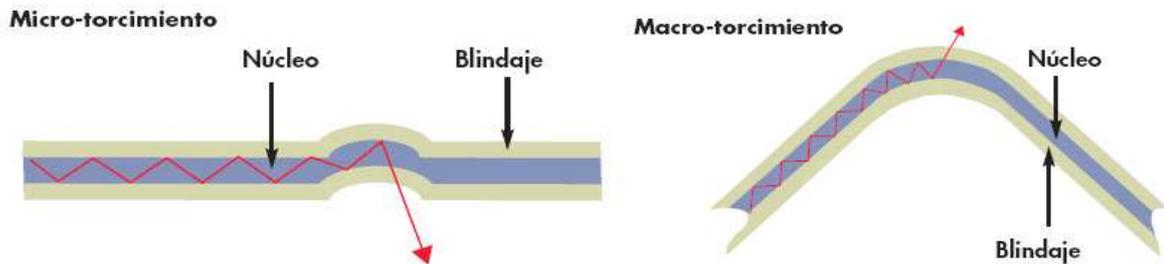


Figura 2.8 Curvado de la fibra óptica

Fuente: http://www:siemon.com/la/white_paper/images/08-03-03-light-it-up3.jpg

2.9 COMPONENTES Y TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

En esta sección se describirán los componentes y los tipos de fibra óptica.

2.9.1 COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

Los componentes un cable de fibra óptica son los siguientes:

- **Núcleo:** Compuesto de sílice, cuarzo fundido o plástico y un diámetro de:

- ✓ 50 o 62,5 μm en la Fibra Multimodo
- ✓ 9 μm en la Fibra Monomodo

En el núcleo se propagan las ondas ópticas.

- **Cubierta Óptica:** Contiene los mismos materiales que el núcleo, a lo cual se añaden aditivos que lindan las ondas ópticas en el núcleo.

- **Revestimiento de Protección:** Generalmente fabricado en plástico y brinda la protección mecánica de la fibra óptica.

En la figura 2.9 se muestran los componentes de una fibra óptica.

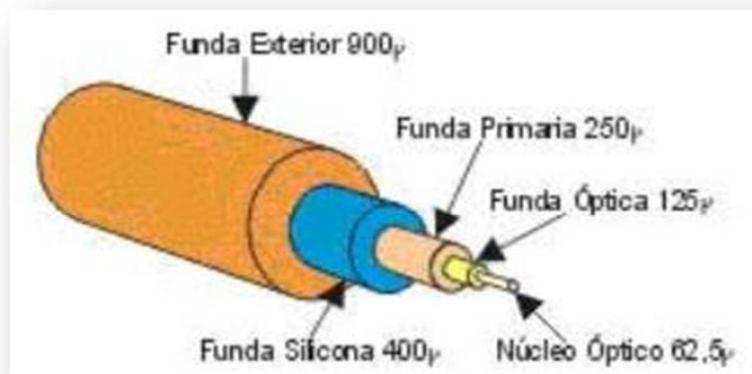


Figura 2.9 Componentes de la Fibra Óptica

Fuente: [http:// telergia.blogspot.com](http://telergia.blogspot.com)

2.9.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Se detalla a continuación los tipos básicos de fibras ópticas:

- Multimodales
- Multimodales con índice gradual
- Monomodales

2.9.2.1 Fibra multimodal

En este tipo de fibra los rayos ópticos se reflejan a diferentes ángulos como puede verse en la figura 2.10.

La distancia a la cual transmite es limitada debido a que los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y además se desfasan mientras viajan en el interior de la fibra.

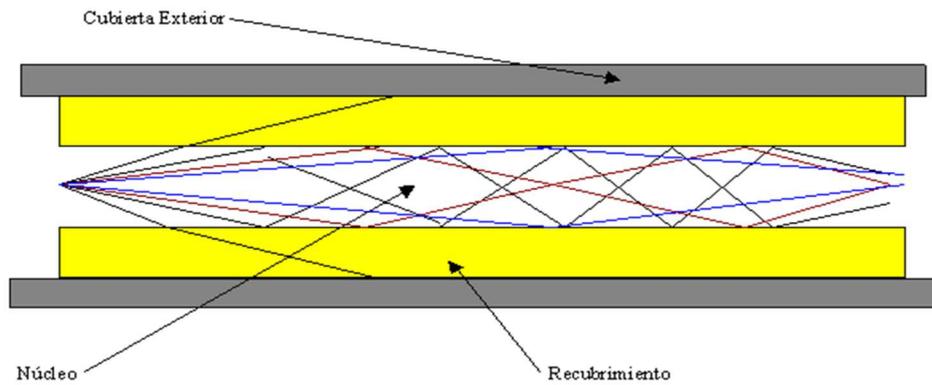


Figura 2.10 Fibra multimodal

Fuente: <http://www.esmijovi.com/images/fig1.gif>

2.9.2.2 Fibra multimodal con índice gradual

En la Fibra multimodal con índice gradual, el núcleo está construido de varias capas concéntricas de material óptico pero con distintos índices de refracción. Los rayos se propagan tal cual se muestra en la figura 2.11.

En este tipo de fibra el número de rayos ópticos es menor, de tal manera que no se es muy afectada por el problema de las multimodales.

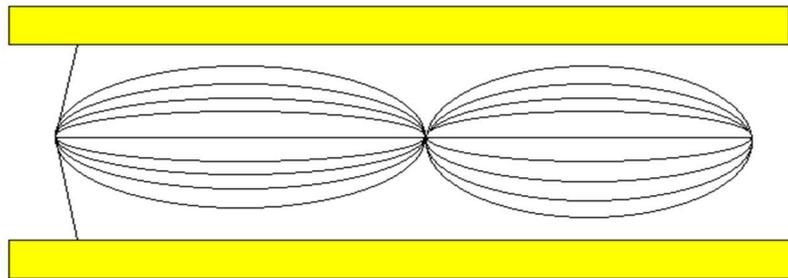


Figura 2.11 Fibra multimodal con índice gradual

Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/fig2.gif>

2.9.2.3 Fibra monomodal

Este tipo de fibra es el más difícil de construir y manipular. No sufre el efecto de los otros dos tipos de fibra, pero por permitir distancias de mayores de transmisión es mucho más costosa. Esta fibra es la de menor diámetro y solo permite que viaje el rayo óptico central.

En la figura 2.12 se realiza una comparación de los distintos tipos de fibra óptica.

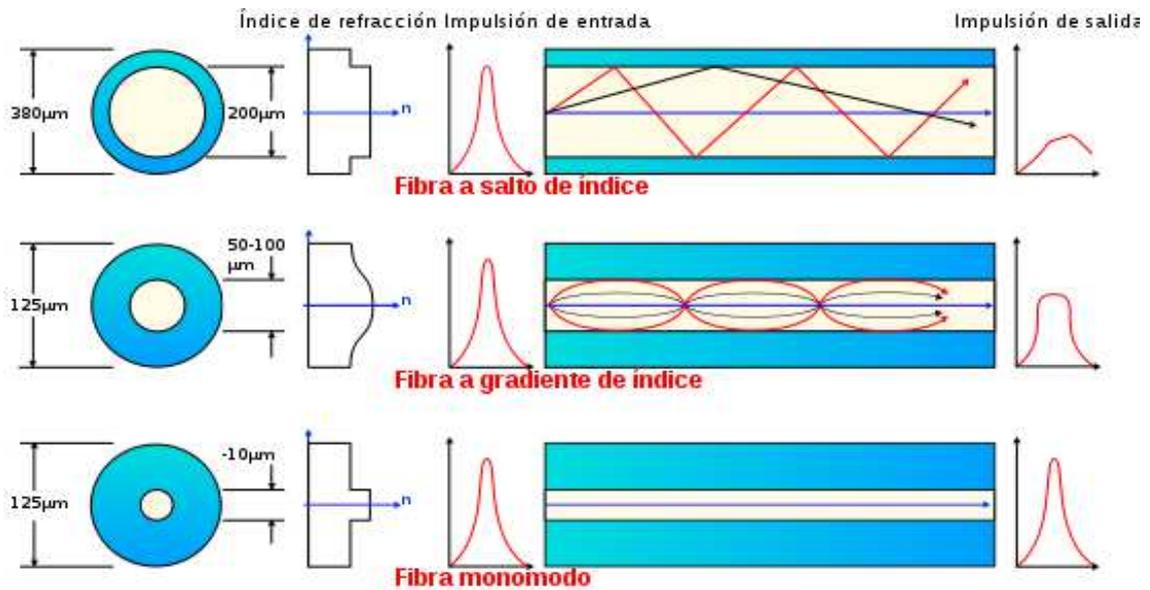


Figura 2.12 Tipos de Fibra Óptica

Fuente: upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/Fibra_optica.svg/550px-

2.10 BLOQUES PRINCIPALES DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES DE FIBRA ÓPTICA

En la figura 2.13 pueden observarse los componentes básicos de un sistema de comunicación por fibra óptica.

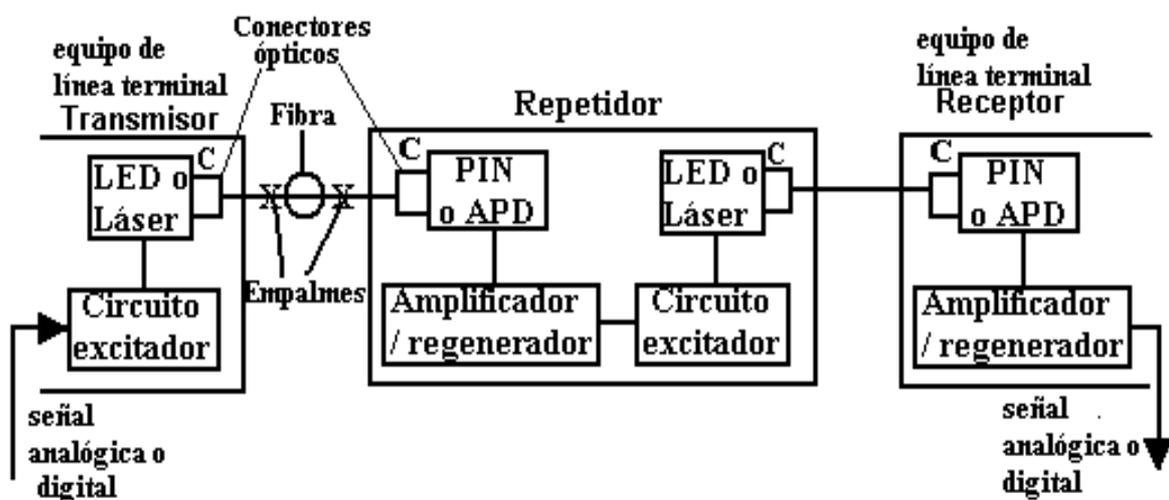


Figura 2.13 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación por fibra óptica

Fuente: Presentación de diapositivas Dr. Arturo Infante Rielo en la Maestría en Telecomunicaciones en la UCSG

- **El transmisor.-** Consiste en una interfaz analógica o digital, con un convertidor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra.
- **La guía de fibra.-** Es un vidrio ultra puro o un cable plástico.
- **El receptor.-** Incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, llamado un foto detector, un convertidor de corriente a voltaje, un amplificador de voltaje y una interfaz analógica o digital.

La señal de la fuente de luz se puede modular analógica o digitalmente en un transmisor de fibra óptica, esto se da acoplando las impedancias y limitando la amplitud de la señal en pulsos digitales. El convertidor de corriente a voltaje se lo utiliza como interfaz eléctrica entre la fuente de luz y los circuitos de entrada.

El detector de luz generalmente es un diodo APD (*Avalanche Photodiode*, Fotodiodo de Avalancha), pero también se utilizan diodos PIN (Diodo con estructura: Semiconductor P-Semiconductor Intrínseco-Semiconductor N), ambos convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un convertidor de corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida.

2.10.1 EMISOR ÓPTICO

El emisor o transmisor óptico consiste en una unidad cuyas entradas son: la señal procedente del codificador NB/MB y la señal de reloj; y su salida son impulsos luminosos con RZ (*Return-to-Zero*, Retorno a Cero).

Esta señal luminosa se acopla a la fibra mediante un conector óptico. La fuente que produce los impulsos luminosos a partir de la señal eléctrica es un diodo semiconductor en el que la radiación luminosa está basada en la emisión de fotones debido a la recombinación de pares electrón hueco provocada al circular una corriente por la unión p-n (positivo - negativo).

2.10.2 FUENTES ÓPTICAS

A continuación se describirán los dos tipos de fuentes ópticas utilizadas en telecomunicaciones, los diodos LED (*Light Emitting Diode*, Diodo Emisor de luz) y LD (*Laser Diode*, Diodo Láser).

2.10.2.1 Clasificación de los LED

Existen dos tipos básicos de LED:

- LED con emisión de superficie.
- ELED (*Edge Emitting Light Emitting Diode*, Diodo con Emisión en el Borde)

Los primeros emiten luz perpendicular al plano de la unión PN, a través de la superficie, por lo que gran parte de la radiación queda absorbida en el sustrato.

En los ELED la luz se emite en el plano de la unión, con lo que la absorción es muy pequeña. Esta estructura permite un mejor rendimiento cuántico externo y acoplamiento a las fibras.

De las características se deduce que la aplicación idónea del LED está en sistemas con:

- Fibras multimodo de apertura numérica alta.
- Baja velocidad de transmisión.
- Pequeña sección de regeneración.

2.10.2.2 Clasificación del laser

Los diodos laser se clasifican de acuerdo al siguiente detalle:

- **Clase 1.-** Láser de baja potencia, seguro de por sí.

- **Clase 2.-** Láser visible entre 400 y 700 nanómetros (nm), a estas longitudes de onda el ojo se protege con el propio parpadeo (0.25 seg). Estos láseres tienen máximo 1mW de potencia.
- **Clase 3.-** Láser de potencia mediana: puede ser peligroso con o sin instrumentos ópticos (por ejemplo lupa o lente de joyero). La clase 3 se divide en dos subclases: laser 3A (luz visible) y 3B (luz invisible).
- **Clase 4.-** Láser de muy alta potencia, puede ocasionar lesiones oculares aunque sea de un rayo directo reflejado en forma especular o difusa. Esta clase de láser puede lesionar la piel y ocasionar incendios, se usa en la industria para corte y perforación de metales.

En la Tabla 2.1 se realiza la comparación entre los dos tipos de fuente óptica.

Tabla 2.1 Características típicas de los LEDs y los Láseres.

Fuente: <http://www.eveliux.com/mx/fibra-optica-fiber-optic.php>

Características	LED	Laser
Ancho espectral	20-60 nm	0.5-6 nm
Corriente (Amperios)	50 mA	150 mA
Potencia de salida(watts)	5 mW	100 mW
Apertura numérica	0.4	0.25
Velocidad (Hertz)	100 MHz	2 GHz
Costo	\$1.00- \$1500 USD	\$100 - \$10000 USD

2.10.3 MODULACIÓN

Los dos principales métodos empleados para variar la señal óptica de salida de los diodos láser son: la modulación PCM (*Pulse-Code Modulation, Modulación de Impulsos Codificados*) para sistemas digitales y la Modulación AM (Amplitud Modulada) para sistemas analógicos. La limitación para aumentar la velocidad de

modulación del láser depende directamente del tiempo de vida de los portadores y de los fotones.

2.10.4 DETECTORES OPTICOS

El detector convierte la señal óptica que procede de la fibra en señal eléctrica como primera parte del proceso de recepción; a continuación, la señal se regenera para llevarla a un equipo terminal o para ser incorporada a la siguiente etapa de un repetidor óptico. Los sistemas que operan actualmente incorporan la detección directa de una señal que se moduló en intensidad a la portadora de la fuente láser; el detector se limita a obtener una fotocorriente a partir de la luz modulada incidente, por lo que esta corriente será proporcional a la potencia recibida, y corresponderá a la forma de onda de la moduladora. En principio, el tipo más sencillo de detector corresponde a la unión p-n de un semiconductor cuyo intervalo de energía entre las bandas de valencia y de conducción sea pequeño, lo que permitirá que un fotón que incida en la unión tenga energía para permitir la creación de un par electrón-hueco. Ambos portadores circularán en sentidos opuestos, creando una fotocorriente sobre el circuito externo.

2.11 VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Las principales ventajas que presentan las fibras ópticas son las siguientes:

- **Ligeras, compactas, peso liviano y menor tiempo de instalación:** Se puede instalar en espacios pequeños, fácil de transportarla. Un cable de 2400 pares de cobre con diámetro de 80 mm, puede ser sustituido por un cable de fibra óptica con diámetro externo de 3.5 mm.
- **Pérdidas muy bajas, menor número de repetidores:** Se puede instalar varios kilómetros de fibra sin repetidores, lo que aumenta la fiabilidad del sistema. Puesto que intrínsecamente las pérdidas de las fibras son muy bajas, el distanciamiento entre repetidores resulta multiplicado si se le compara con el exigido por los cables metálicos en análogas condiciones de tráfico.
- **Libre de interferencias, no necesitan apantallamiento:** Permiten un funcionamiento seguro en presencia de campos electromagnéticos e impulsos de radiofrecuencias.

- **Mayor calidad y más velocidad en la transmisión:** Menor BER (*Bit Error Rate*, Tasa de Error de bit), el típico valor del BER es 10^{-6} - 10^{-10} en telecomunicaciones, para el caso del peor BER 10^{-2} y el mejor valor 10^{-12} .
- **Estabilidad frente a los factores ambientales:** La atenuación de las fibras con la temperatura depende de la estructura del cableado. Sin embargo, hay diseños que garantizan estabilidad de las pérdidas en el margen de -60 °C a 80 °C .
- **Resistentes a las emisiones radioactivas.**
- **Fácil disponibilidad de la materia prima (sílice y silicato):** Las materias primas empleadas en las fibras son muy abundantes en la naturaleza, directa o indirectamente.
- **Aislamiento eléctrico:** Esto posibilita ciertas prestaciones: no se precisa una tierra común entre el transmisor y el receptor, puede repararse la fibra aunque los equipos no estén apagados.
- **Flexibilidad de los sistemas.**

La capacidad de los diferentes medios de físicos de transmisión se analiza en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Capacidades de transmisión

Fuente: Presentación de diapositivas Dr. Arturo Infante Rielo en la Maestría en Telecomunicaciones en la UCSG

TIPO DE CABLE	CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN (PRODUCTO AB - DISTANCIA)	CONVERSACIONES SIMULTÁNEAS TEÓRICAS
Par sencillo	1MHz - Km.	300
Coaxial	100 MHz - Km.	30 000
Fibra óptica	100 GHz - Km.	30 000 000

2.12 DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

Las limitaciones de los sistemas de comunicación que utilizan fibra óptica como medio de transmisión son las siguientes:

- **Dificultades para la manipulación de las fibras:** Los equipos y las herramientas que se necesitan para trabajar con fibras ópticas no son convencionales y requiere de personal capacitado.
- **La no linealidad de las fuentes ópticas y detectores:** esto limita las aplicaciones analógicas.
- **Sin polaridad:** A diferencia de lo que ocurre con líneas conductoras, no es posible trabajar con señales de tres niveles (Positivo - Negativo - Cero).
- **Reparación complicada:** Las instalaciones de cables con fibras ópticas son muy sensibles al daño intencional (sabotaje, vandalismo) y su reparación puede ser complicada y costosa.
- **Dispersión en tiempo** de las componentes espectrales de las señales transmitidas, causando solapamiento entre las mismas en el dominio del tiempo.
- **Dispersión cromática y dispersión modal:** Este fenómeno se conoce como interferencia intersímbolos (IIS) y es muy nocivo a altas velocidades.

2.13 COMPARACIÓN CON OTROS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

A continuación se realiza una comparación entre los cables de fibra óptica y los cables coaxiales, la cual se detalla en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Comparación con los cables coaxiales

Fuente: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyuZlyEAFDoGCgcJJ.php>

Características	Fibra Óptica	Coaxial
Longitud de la Bobina (mts)	2000	230
Peso (Kgs/km)	190	7900
Diámetro (mm)	14	58
Radio de Curvatura (cms)	14	55
Distancia entre repetidores (Kms)	40	1.5
Atenuación (dB / km) para un Sistema de 56 Mbps	0.4	40

2.14 APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA

Las principales aplicaciones de la fibra óptica son las siguientes:

- Líneas Troncales.
- Sistemas de cables submarinos.
- Comunicaciones en redes locales y vehículos (fibra plástica 0.66 μm).
- Redes LAN de corta distancia (FO MM GI 0.85 μm).
- Redes LAN y WAN (*Wide Area Network*, Red de Área Extensa) de larga distancia (FO MM GI 1.3 μm).
- Red de acceso hasta el bucle de abonado.
- Amplificador Óptico de Fibra Dopada con Erblio (FO UM 1.48 μm).
- TV por cable
- Distribución terrestre de las señales de satélites
- Aplicaciones militares.
- Comunicaciones estratégicas
- Sistemas para monitoreo óptico
- Sistema de control en procesos tecnológicos
- Medicina (microcirugía, endoscopia)

En el siguiente capítulo se presentarán los aspectos fundamentales del programa de simulación OptSim que será utilizado para implementar las prácticas cuya aplicación se recomienda para la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, como un complemento de las clases teóricas.

CAPITULO 3 PROGRAMA DE SIMULACION OPTSIM

OptSim es un programa desarrollado y comercializado a nivel mundial por ARTIS Software Corporation, una empresa con sede en América del Norte y Europa, que provee las herramientas de ingeniería necesarias para Telecom y Datacom (Empresas de Telecomunicaciones). OptSim es una herramienta de software para el diseño y simulación de sistemas ópticos de comunicación en el nivel de propagación de señal. Con técnicas de simulación del estado del arte, una interface gráfica de usuario fácil de usar e instrumentos de medida como los de un laboratorio, este programa de simulación provee inigualable exactitud y utilidad. Este software ha estado disponible comercialmente desde 1998 y es usado en organizaciones académicas e industriales en todo el mundo.

OptSim es un simulador de sistemas de comunicaciones ópticas que permite el diseño y evaluación de transmisión en redes WDM, CATV y nuevos sistemas ópticos. Posee una completa biblioteca de algoritmos de simulación, lo cual garantiza resultados reales y precisos en lo posible.

Una simulación en OptSim es una operación simple dividida en cuatro pasos:

- Crear y configurar los parámetros de la simulación
- Dibujar el diagrama esquemático
- Iniciar la simulación
- Visualizar los resultados con la herramienta *Data Display* de datos

3.1 AMBIENTE OPTSIM

Cuando se inicia la utilización de este simulador, se puede elegir entre la opción de crear un nuevo proyecto abrir uno existente, entre otras opciones que se pueden observar en la ventana de dialogo que se muestra en la figura 3.1.

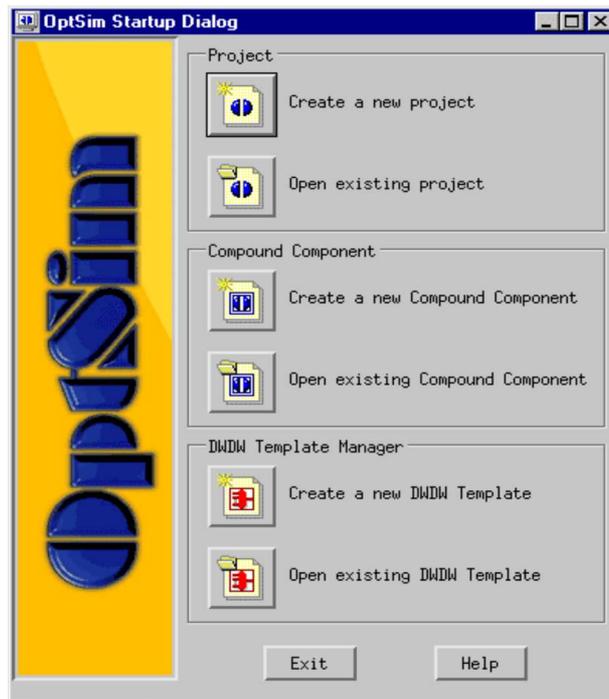


Figura 3.1 Ventana de Diálogo de OptSim.

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.2 NUEVO PROYECTO

Los parámetros del diagrama esquemático y la simulación de un diseño se almacenan en un archivo con la extensión *opf* al momento de crear un proyecto de OptSim.

Después de cada simulación otros archivos y sub-directorios se pueden crear en el mismo directorio donde está el archivo de proyecto. Por esta razón, es recomendable crear un directorio de funcionamiento para cada proyecto nuevo.

3.2.1 ÁRBOL DE DIRECTORIO

En Windows los sistemas crean la carpeta **Gs1** bajo la carpeta \ el **OptSim** \ **proyectos**, de acuerdo al procedimiento establecido en el árbol de directorio mostrado en la figura 3.2.

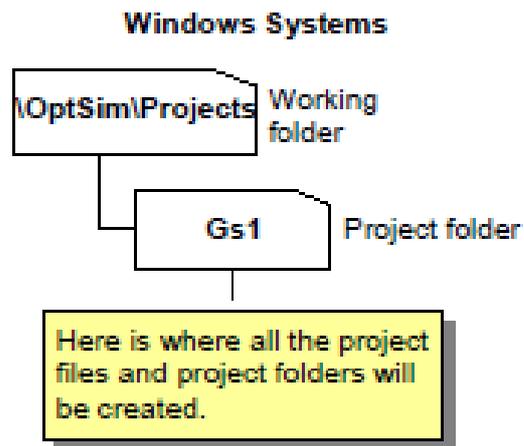


Figura 3.2 Árbol de directorio del proyecto
Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.2.2 CREAR UN NUEVO PROYECTO

La metodología que se utilizará para presentar de una manera detallada el procedimiento a seguir para la elaboración de un nuevo proyecto será la implementación de un proyecto muy simple a manera de ejemplo. Así, para la creación de un nuevo proyecto es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Se hace clic en el botón **crear un nuevo proyecto** en la ventana de diálogo de OptSim que se mostró en la figura 3.1.
2. Se escribe el nombre del nuevo proyecto (sin la extensión), por ejemplo *fibra1*, y se hace clic en ACEPTAR.

En este momento se abrirá la ventana de diálogo de los parámetros que se puede observar en la figura 3.3. En este punto es importante indicar que los caracteres permitidos para los nombres de los archivos son: alfanuméricos, “_” (raya), “-” (guión) y “+” (más).

Si se desea omitir los pasos de fijar los valores de los parámetros, se puede copiar el ejemplo del proyecto a su directorio de funcionamiento y abrir la copia local del archivo de proyecto.

3.3 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Los parámetros son esenciales para controlar la exactitud y la duración de la simulación. Una elección incorrecta de algunos de estos parámetros, tal como la duración simulada total, dará como resultado tiempos excesivamente largos (si los valores son demasiado grandes), o los resultados totalmente incorrectos (si los valores son demasiado pequeños).

Es conveniente definir estos parámetros antes de diseñar la red del sistema, debido a que cualquier componente del diseño será inicializado automáticamente con los valores por defecto (*default*).

Como ya se indicó anteriormente la ventana del diálogo de los parámetros de simulación (Figura 3.3) se abre automáticamente cuando se crea un nuevo proyecto. Sin embargo es posible abrir la ventana en cualquier momento seleccionando en el comando de menú: *Edit>Simulation Parameters* o en la barra de herramientas haciendo clic en **parámetros de simulación**.

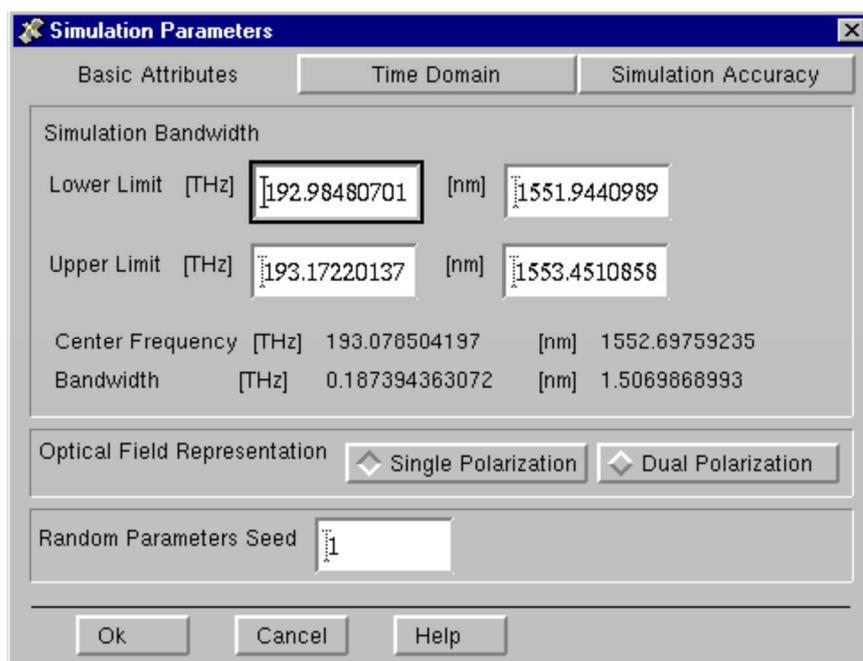


Figura 3.3 Ventana de dialogo de los Parámetros de Simulación

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

La ventana de los parámetros de simulación se organiza en tres secciones:

- **Cualidades básicas:** Permite fijar los límites de la anchura de banda de SPT (*Spectral Propagation Technique*, Técnica de Propagación Espectral), además de la representación óptica de la polarización (polarización sola o dual) .
- **Dominio de tiempo:** Permite fijar el ancho de banda de VBS (*Simulation Technique Variable Bandwidth*, Técnica de Simulación de Ancho de Banda Variable) y de otros parámetros relacionados con la simulación en el dominio de tiempo, tal como el tiempo total de la simulación y el índice binario de referencia.
- **Exactitud de la simulación:** Fija parámetros de precisión, relacionados sobre todo con la simulación de fibras ópticas.

A continuación se detalla el significado de los campos más importantes en la ventana de diálogo de los parámetros de simulación, en la cual se consideran las siguientes reglas generales:

- El ancho de banda del SPT debe ser bastante grande para cubrir la gama de frecuencia de todos los componentes.
- El ancho de banda de VBS puede ser pequeño; no obstante si el espectro de salida de un componente no está incluido, no será simulado en el dominio de tiempo.
- El ancho de banda de VBS debe ser el 20% más pequeño que el ancho de banda del SPT.

Otros parámetros de simulación importantes son:

- **Tasa de referencia de bits:** Se utiliza para fijar valores, tales como la tasa de fuente de datos digitales y frecuencias de corte de un filtro paso bajo.
- **Duración simulada total y número de bits de la tasa de referencia:** Fija la duración de la simulación en términos de tiempo expresado en nanosegundos [ns].

- **Representación óptica del campo:** Este parámetro alterna entre la **polarización individual o la doble polarización**. Por otra parte es posible utilizar los componentes disponibles de OptSim para manejar y estimar la polarización del campo. Cuando se elige este parámetro se debe recordar que el tiempo requerido por el CPU (*Central Processing Unit*, Unidad Central de procesamiento) para la simulación en la polarización individual se reduce en un factor de 2-4X respecto al de doble polarización.

3.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

Para la elaboración del diagrama esquemático del proyecto es necesario considerar los siguientes puntos:

3.4.1 SECCIÓN DEL TRANSMISOR

El bloque correspondiente al transmisor está integrado por cuatro componentes:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| ✓ Una fuente de datos digitales |  |
| ✓ Excitador o <i>driver</i> eléctrico |  |
| ✓ Una fuente óptica |  |
| ✓ Un modulador externo de amplitud |  |

El simulador OptSim representa los componentes del proyecto de acuerdo a un determinado color, así por ejemplo:

- Acoplamiento y componentes ópticos, color rojo.
- Acoplamiento y componentes eléctricos, color azul.
- Acoplamiento y componentes digitales, color negro.

3.4.1.1 Diseñar la sección del Transmisor

Para diseñar la sección del transmisor se procede de la siguiente manera:

1. Se hace clic primero en *Datasource*  de la gama de componentes y luego sobre el área de diseño donde se desea colocarla.
2. A continuación se hace clic en el componente *excitador o driver eléctrico*  de la gama de componentes y luego sobre el área de diseño a la derecha de la fuente de datos (*datasource*).
3. Para la fuente óptica, se hace clic en un diodo láser por ejemplo , y después sobre el área de diseño debajo de la fuente de datos.
4. Finalmente se hace clic en el modulador de amplitud  y se lo ubica a la derecha del componente laser.

En la figura 3.4 puede observarse que cada componente nuevo insertado tiene un signo de interrogación en la parte derecha del icono, esto indica que se deberán asignar los valores de los parámetros a cada uno de esos componentes.

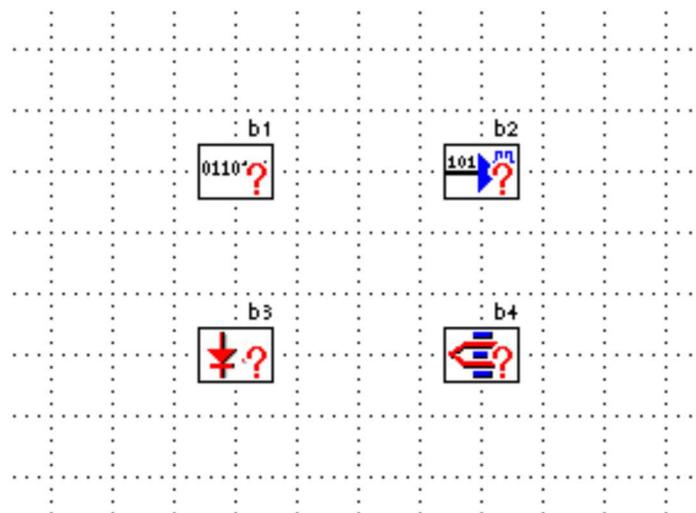


Figura 3.4 Componentes nuevos insertados
Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

A continuación se hace doble clic en el icono del componente del área del diseño y se despliega la ventana de diálogo con todos los parámetros. Frente a una duda sobre los valores a asignar, es posible seleccionar la opción **ayuda** en la ventana de diálogo.

3.4.1.2 Configuración de los parámetros para el Componente del Laser

El procedimiento para la configuración de los parámetros para la fuente óptica seleccionada, en este caso el diodo laser, se detalla a continuación:

1. Se hace clic en el icono del diodo laser  y aparecerá la ventana de diálogo, que se muestra a continuación en la figura 3.5:

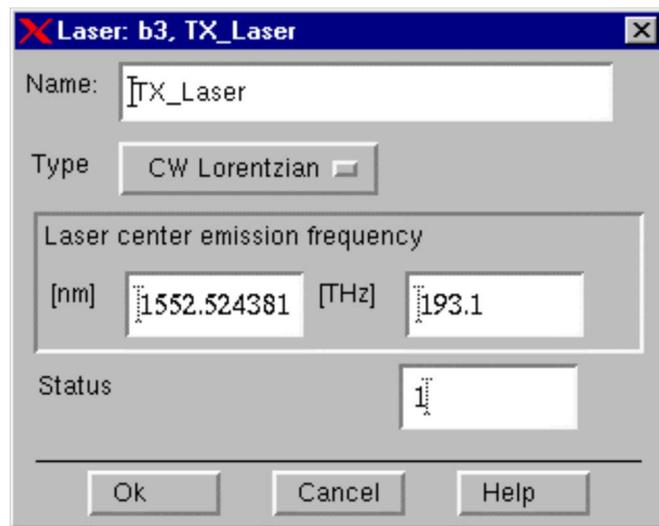


Figura 3.5 Ventana de los parámetros del componente laser

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

2. Se registra el nombre al componente, en este caso, TX_Laser en el campo **name** y luego se selecciona en el campo tipo el modelo **CW** (*Continuous Wide*, Onda Continua) **Lorentzian**, por ejemplo. Esto permite que se abra una segunda ventana de diálogo mostrada en la figura 3.6, la que permite definir los parámetros adecuados.

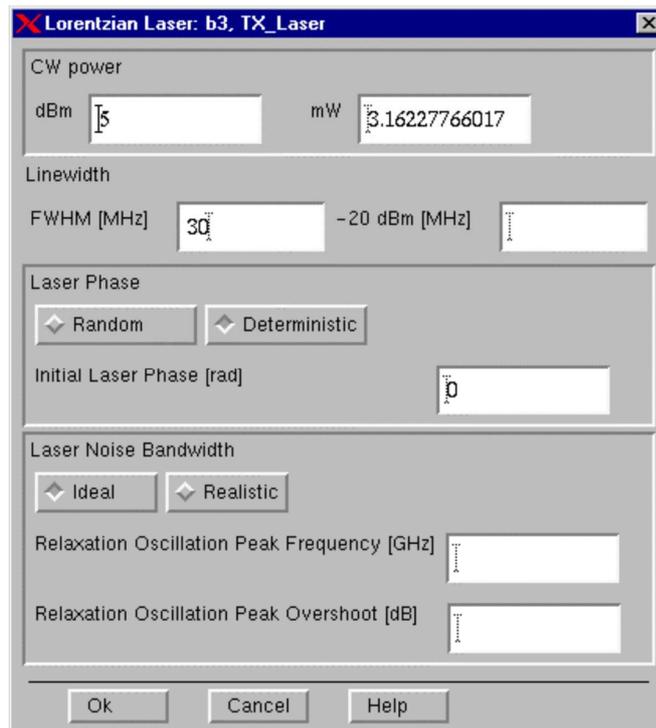


Figura 3.6 Ventana de los parámetros del láser CW Lorentzian

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3. Se eligen los siguientes parámetros: En el campo de energía del CW: **5dBm**. En el parámetro grosor de línea (linewidth): **30 FWHM** (*Full Width at Half Maximun, Ancho Total de la Mitad Máxima*). Luego se selecciona la opción **determinista** en el parámetro de la **fase del laser** para fijar de esta manera la fase inicial a 0 rad.
4. Ahora se hace clic en **OK** para cerrar las dos ventanas.

3.4.1.3 Configuración de los parámetros para el componente del modulador de amplitud

A continuación se detalla el procedimiento para la configuración de los parámetros para el modulador de amplitud:

1. Se hace doble clic en el icono del modulador de amplitud  y aparecerá la ventana de diálogo de los parámetros.
2. En el campo exceso de la **pérdida** se selecciona: **5**. Se abre la lista y se selecciona el tipo de modulador: **Sin2**, lo cual abrirá una segunda ventana de diálogo.

3. En la sección de atributos básicos se selecciona **Yes** en la opción *Electrical Filtering with sin (f/Bw)/(f) Law* el tipo12, en el campo de ancho de banda: **-3dB**.

4. Luego se hace clic en **OK** para cerrar las dos ventanas.

3.4.1.4 Configuración de los parámetros para el componente de la fuente de datos digitales

Esta configuración se realiza de la siguiente manera:

1. Doble clic en el icono de la fuente de datos  y se escribe el nombre a la fuente. Si no se proporciona ningún nombre, la fuente digital tendrá el índice binario.

3.4.1.5 Configuración de los parámetros para el Componente Eléctrico del Conductor

En este caso el procedimiento es el siguiente:

1. Se hace doble clic en el icono , y se escribe en el campo *Name*: conductor eléctrico. En el campo *Low level*: -2.5 y 2.5 en el campo *High level*.
2. Ahora se abre la lista del **tipo y de la forma de la señal** y se selecciona **NRZ** (*Non-Return-to-Zero*, No Retorno a Cero) y **rectangular** para el tipo de conductor.
4. Se hace clic en **OK** para cerrar las dos ventanas.

Una vez realizados los pasos indicados se podrá observar el diagrama esquemático mostrado en la figura 3.7.

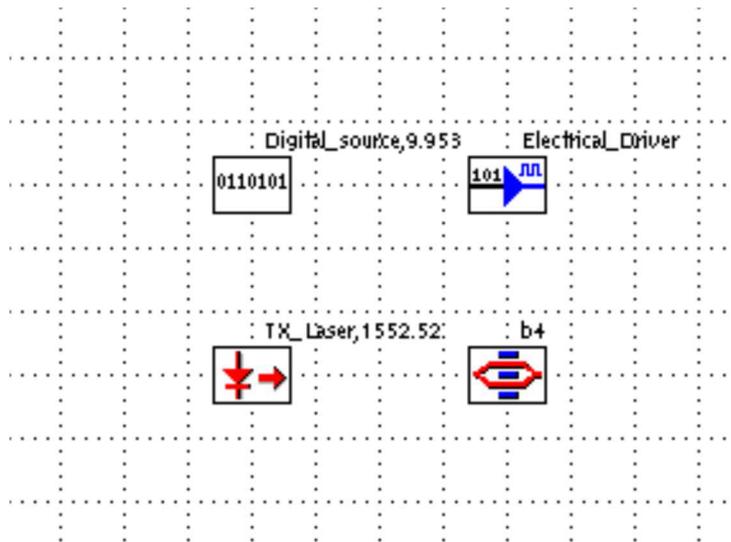


Figura 3.7 Componentes nuevos insertados y renombrados

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.4.1.6 Dibujar las conexiones de la sección del Transmisor

A continuación se detallará el procedimiento a seguir para dibujar las conexiones correspondientes a la sección de transmisor:

1. Primero se hace clic en el enlace lógico. 
2. Luego se hace clic en el enlace eléctrico. 
3. Después se hace clic en el enlace óptico. 

Ahora se procede a enlazar los componentes del área de trabajo de acuerdo a los componentes y sus funciones, sean estas eléctricas u ópticas.

Se puede dibujar varias conexiones del mismo tipo, uno tras otro, hasta seleccionar otro tipo de herramienta de conexión. Se debe considerar además que algunos componentes son de tipo compuesto, por ejemplo el modulador, que es un componente electro-óptico. Para este caso el componente contará con una conexión óptica del láser y una conexión eléctrica del conductor, como puede apreciarse en la figura 3.8.

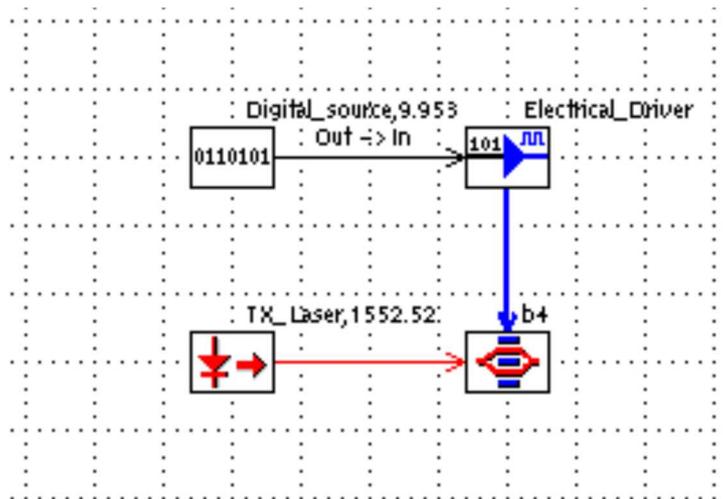


Figura 3.8 Sección del transmisor

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.4.2 EL ACOPLAMIENTO ÓPTICO

El siguiente paso consiste en implementar el acoplamiento óptico para lo cual se realizará el procedimiento detallado a continuación:

3.4.2.1 Dibujar la sección del Acoplamiento Óptico

Para dibujar la sección correspondiente al acoplamiento óptico es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Se hace clic en el icono del amplificador óptico , y se procede a elegir el tipo de conductor: **Potencia de salida fija (Fixed Output Power)** y se abrirá una segunda ventana.
2. En el campo **potencia de salida (Output Power)**: 6 dBm y 5 dB en el campo **F** (figura de ruido) y clic en **OK** para cerrar las dos ventanas.
3. Ahora se hace clic en el *splitter* óptico  y luego se hace clic a la derecha del amplificador en el área de diseño. Este componente será utilizado más adelante para conectar un analizador de espectro óptico como componente de medición.
4. Doble clic en el *splitter* óptico, y clic en **OK** para aceptar los ajustes de defecto.

5. Para copiar se selecciona el botón  y para pegar , ubicados en el menú.
6. A manera de ejemplo, el final del procedimiento de la sección de acoplamiento se muestra a continuación en la figura 3.9:

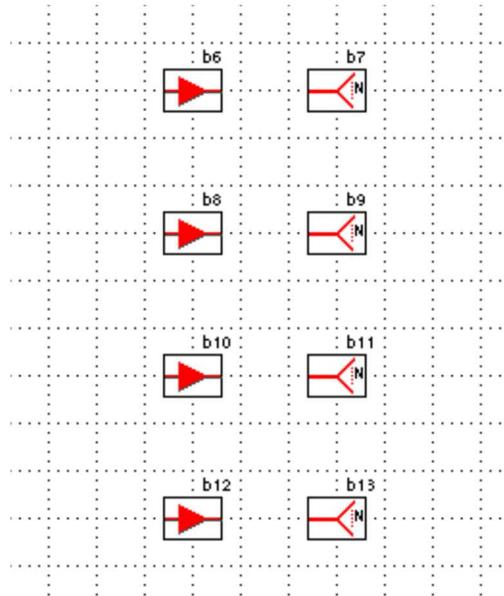


Figura 3.9 Sección del Acoplamiento

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

Todos los acoplamientos ópticos son ideales. Para editar los parámetros, se hace doble clic sobre el icono y aparecerá la ventana de diálogo de la fibra como se muestra en la figura 3.10:

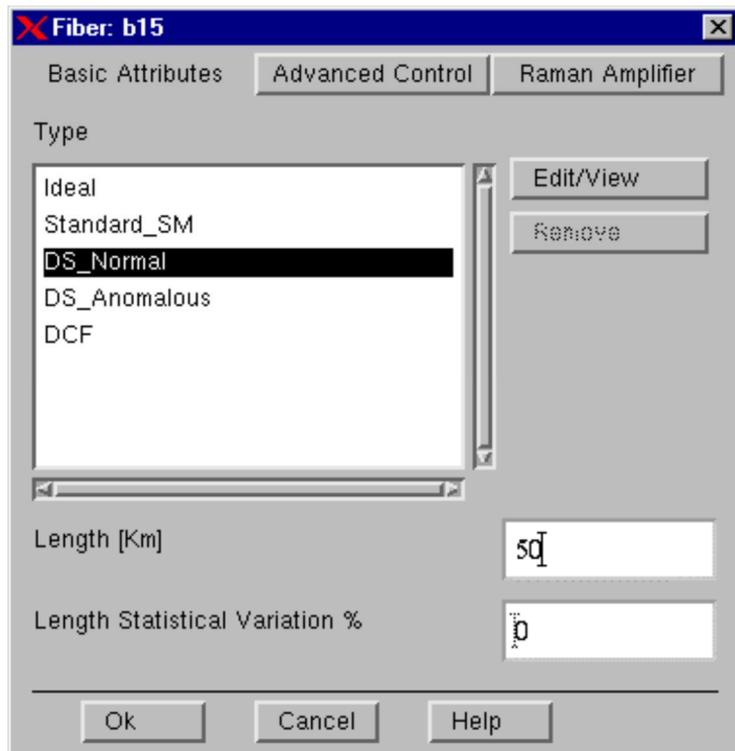


Figura 3.10 Ventana del diálogo de la fibra
Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

Éste es una de las ventanas más importantes y más complejas del simulador OptSim, puesto que permite la especificación de todos los parámetros físicos de la fibra. Como se muestra en la figura 3.11, la ventana tiene tres pestañas en su parte superior:

- *Basic Attributes* (atributos básicos)
- *Advanced Control* (control avanzado)
- *Raman Amplifier* (amplificador Raman)

La sección *Basic Attributes* permite la selección del tipo predefinido de fibra y fijar la longitud de la misma.

La sección *Advanced Control* permite la selección de efectos de la fibra tales como ausencia de linealidad, PMD (*Polarization Mode Dispersión*, Dispersión por Modo de Polarización).

La sección de *Raman Amplifier* permite fijar la amplificación en la fibra (bomba sola o multi-bomba).

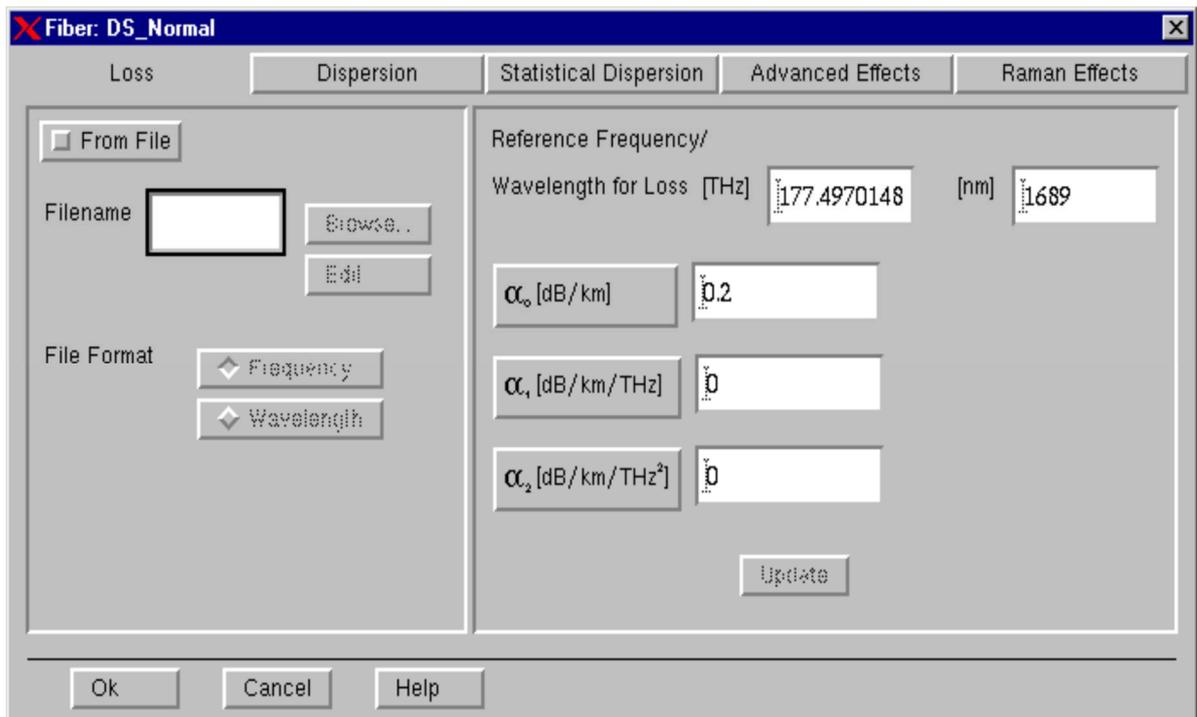


Figura 3.11 Ventana del diálogo para los parámetros intrínsecos de una fibra

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.4.2.2 Parámetros Intrínsecos del tipo de fibra.

Esta nueva ventana tiene cinco pestañas:

- **La pérdida**, define las características de la atenuación de la fibra.
- **La dispersión**, define las características de la dispersión de la fibra.
- **La dispersión estadística**, define las características estadísticas de la dispersión de la fibra.
- **Los efectos avanzados**, definen el coeficiente no lineal de Kerr y varios parámetros de polarización-relacionados, tales como birrefringencia, de correlación y dispersión del modo de la polarización de la fibra.
- **Los efectos de Raman**, definen los parámetros característicos empleados para simular los efectos inducidos por la dispersión estimulada de Raman: interferencia de Raman y amplificación de Raman.

Es importante observar que en un acoplamiento óptico como fibra real, se convierte la línea en el área del diseño más densa. Una línea roja fina representa un acoplamiento óptico ideal. Esto puede observarse en la figura 3.12.

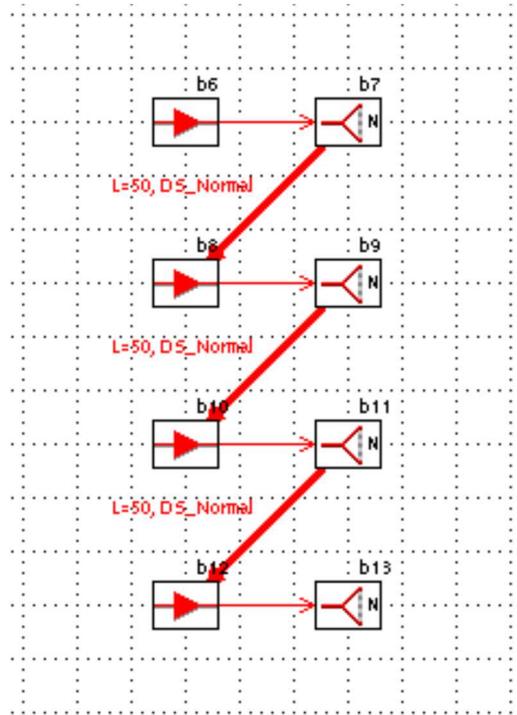


Figura 3.12 Sección del Acoplamiento Óptico
Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.4.3 SECCIÓN DEL RECEPTOR

Del mismo que se realizó en la sección transmisora, se debe seleccionar los componentes y colocarlos sobre el área de diseño de la siguiente manera, uno junto a otro componente:

1. Se ubica el filtro óptico  debajo de la sección del acoplamiento óptico en el área del diseño.
2. El *Splitter* óptico  a la derecha del filtro óptico.
3. Se coloca el atenuador óptico  a la derecha del componente *Splitter* óptico.
4. El receptor sensible óptico  a la derecha del atenuador óptico.

5. El *Splitter eléctrico*  a la derecha del receptor.
6. Finalmente el filtro eléctrico  se lo ubica a la derecha del componente *Splitter* eléctrico.

Ahora la sección del receptor aparecerá como la figura 3.13 lo muestra:

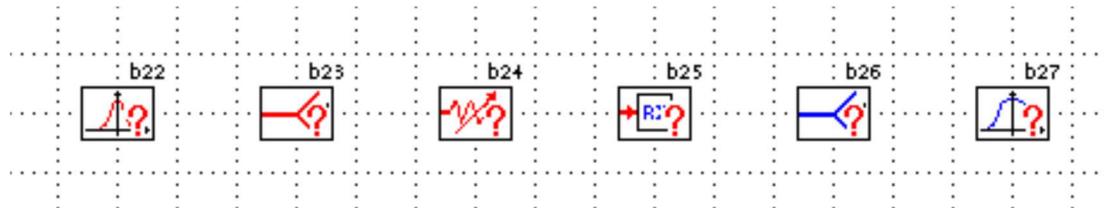


Figura 3.13 Sección Receptora

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

7. A continuación se hace doble clic en el icono del filtro óptico , y aparecerá la ventana de diálogo de los parámetros. Se Abre la lista **tipo** y se selecciona el modelo ***Raised Cosine***. Con lo cual se despliega una segunda ventana de diálogo. Clic en **OK**.
8. Doble clic en el icono del *splitter* óptico , y se configuran los parámetros. A continuación es necesario repetir la operación para el divisor eléctrico .
9. Después se hace doble clic en el icono del atenuador óptico , y en la ventana de diálogo se selecciona, en el campo de **atenuación**: 25 dB y se hace clic en **OK**.
10. Para terminar esta sección se hace doble clic en el icono de la sensibilidad del receptor óptico  y en la ventana de diálogo se debe configurar:

En los atributos básicos:

Sensibilidad Bajo la Condición de Prueba (*Sensitivity Under Test Condition*): - 27.

Para los Filtros Receptores:

Orden del Filtro de Bessel (*Bessel Filter Order*): 5.

Normalizado de la Frecuencia de -3dB (*Normalized -3dB Frequency*): 0.8

Clic en **OK** para cerrar la ventana.

11. A continuación se hace doble clic en el icono del filtro eléctrico , y en el tipo de lista se selecciona el modelo de **Bessel**. Esto abrirá una segunda ventana de diálogo:

Número de polos (*Number of Poles*): 5.

Ancho de Banda de -3dB (*-3dB Bandwidth*): 8.

Clic en **OK** para cerrar las ventanas.

12. Ahora se hace clic en la herramienta de conexión del acoplamiento óptico  de la gama de componentes. Entonces, primero se hace clic en el componente del filtro óptico y después en el *splitter* óptico. Del mismo modo se conecta el *splitter* óptico con el atenuador óptico, y este con el receptor sensible óptico.

13. A continuación con un acoplamiento eléctrico , se enlaza el receptor sensible óptico al *splitter* eléctrico.

14. Finalmente se conecta el *splitter* eléctrico con el filtro eléctrico.

Luego de los pasos detallados se puede observar el diagrama esquemático de la sección del receptor en la forma mostrada en la figura 3.14.

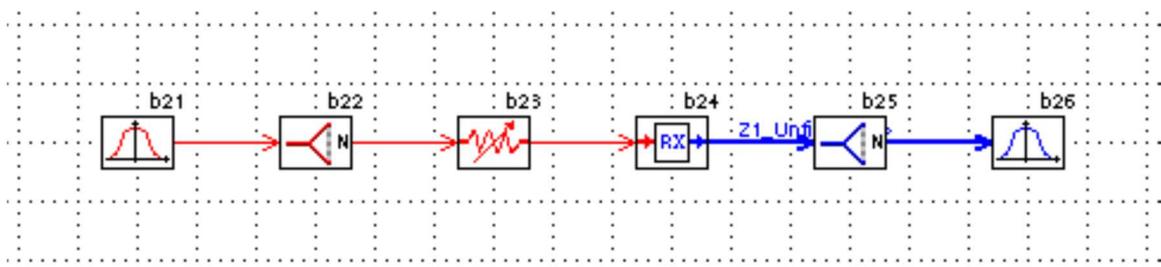


Figura 3.14 Sección del Receptor

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.5 COMPONENTES MEDIDORES

El simulador OptSim contiene una extensa librería de componentes medidores, que se agrupan de la siguiente manera:

- La punta de prueba óptica o sonda óptica (*optical probe*) produce diagramas tales como energía, fase, frecuencia instantánea, el espectro de la señal óptica y varias operaciones de post-procesos tales como detección del canal y evaluaciones de OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*, Razón Señal Óptica a Ruido).
- Alcance Eléctrico que produce diagramas tales como amplitud, diagrama de ojo, histograma en ojo y espectro de la señal eléctrica, además de varias operaciones post-procesos tales como factor de detección Q y estimaciones del BER.
- Analizadores de espectro de señal óptica y eléctrica.
- Medidores de potencia óptica y eléctrica (*Optical And Electrical Power Meters*)

Los resultados de una simulación son registrados y mostrados a través de los componentes de medición, los cuales son los más importantes a configurar para una simulación. Para dibujar estos componentes de medición se realizan los siguientes pasos:

1. En primer lugar se hace clic en el componente OSA (*Analyzer Optical Spectrum*, Analizador de Espectro Óptico)  de la gama de componentes y clic a la derecha del primer *splitter* de la sección de acoplamiento óptico. Después se hace clic sobre el icono OSA, y aparecerá la ventana de diálogo. Se escribe OSA transmisor en el campo *name* y se hace clic en **OK**.
2. Ahora se hace clic en el componente analizador de espectro eléctrico  y se conecta debajo del *splitter* eléctrico de la sección del receptor. Después se hace doble clic y se selecciona **OK** para aceptar los parámetros de defecto.
3. Clic en el componente de alcance eléctrico  y clic a la derecha del filtro eléctrico de la sección del receptor. Se selecciona **OK** para aceptar los parámetros de defecto.

Los acoplamientos entre los diferentes medidores a los componentes se realizan con conectores, dependiendo si trabajan con señales ópticas o eléctricas.

3.6 CONEXIÓN DE LAS TRES SECCIONES

Para realizar esta operación se debe seguir el procedimiento detallado a continuación:

1. Se hace clic en un acoplamiento óptico  y se enlaza el modulador de amplitud de la sección del transmisor con el primer componente del amplificador en la sección del acoplamiento óptico.
2. Después se hace clic en el componente óptico del *splitter* de la sección del acoplamiento óptico, y después en el componente del filtro óptico en la sección del receptor.

Gracias a este procedimiento el diagrama esquemático del enlace óptico proyectado puede observarse en la figura 3.15.

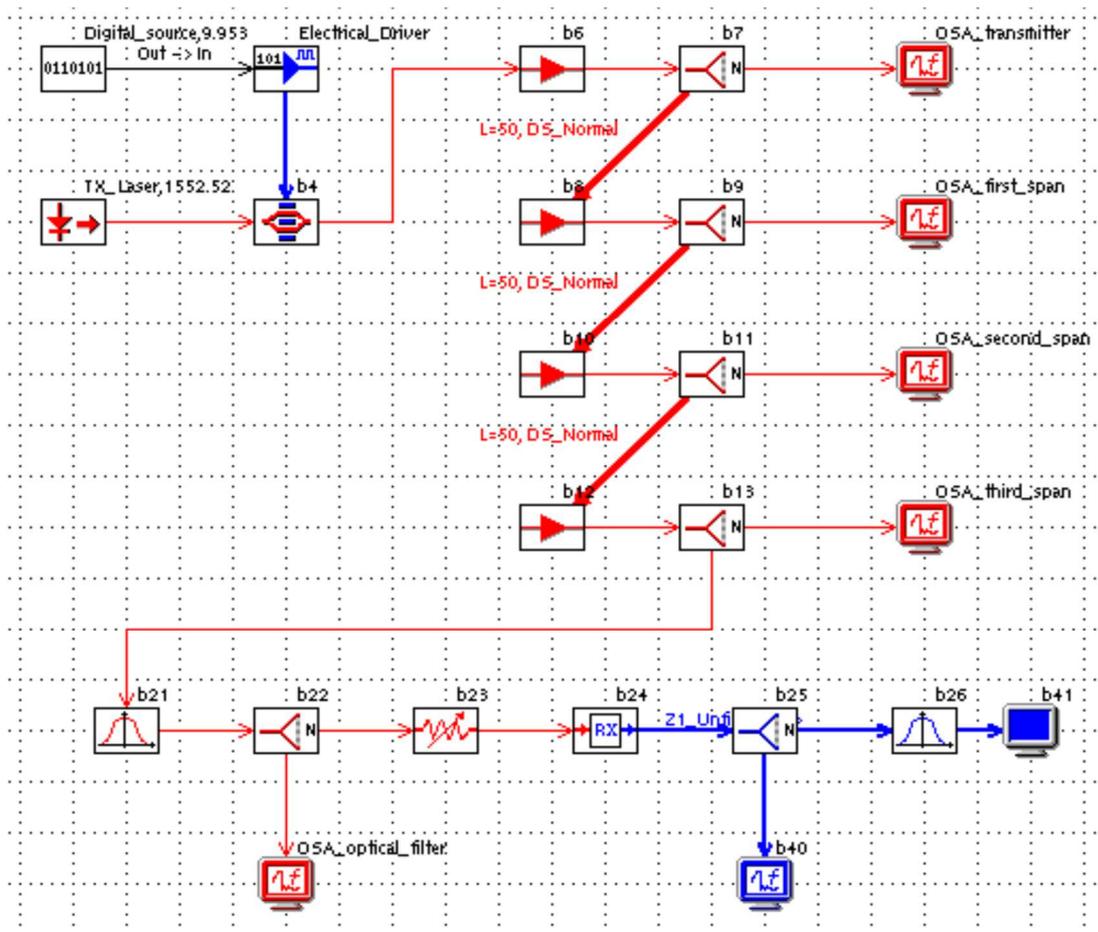


Figura 3.15 Diseño de un Enlace Óptico

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

Para guardar el proyecto, se hace clic en el botón guardar (*save*) .

3.7 SIMULACIÓN DEL DISEÑO

A continuación hay que proceder a simular el proyecto diseñado.

3.7.1 SIMULACIÓN SPT

SPT (*Spectral Propagation Technique*, Técnica de Propagación Espectral), en la cual solo se propaga el espectro de potencia y se consideran los efectos lineales. En esta técnica solo los componentes ópticos son simulados.

3.7.1.1 Chequeo de errores del SPT

Primero es necesario revisar si no hay errores en el diseño para lo cual se hace clic en el botón del *SPT* chequeo (*check*)  o se elije el comando de menú *simulate* > **SPT** > *check*. Si no se registran errores, se procede con la simulación del SPT.

3.7.1.2 Iniciar simulación del SPT

Se inicia haciendo clic en el botón del *SPT*  o se procede a elegir el comando de menú *simulate* > **SPT** > *start*.

Los SPT funcionan generalmente muy rápidamente, típicamente demora unos segundos. En la figura 3.16 se puede observar la ventana del estado de la simulación.

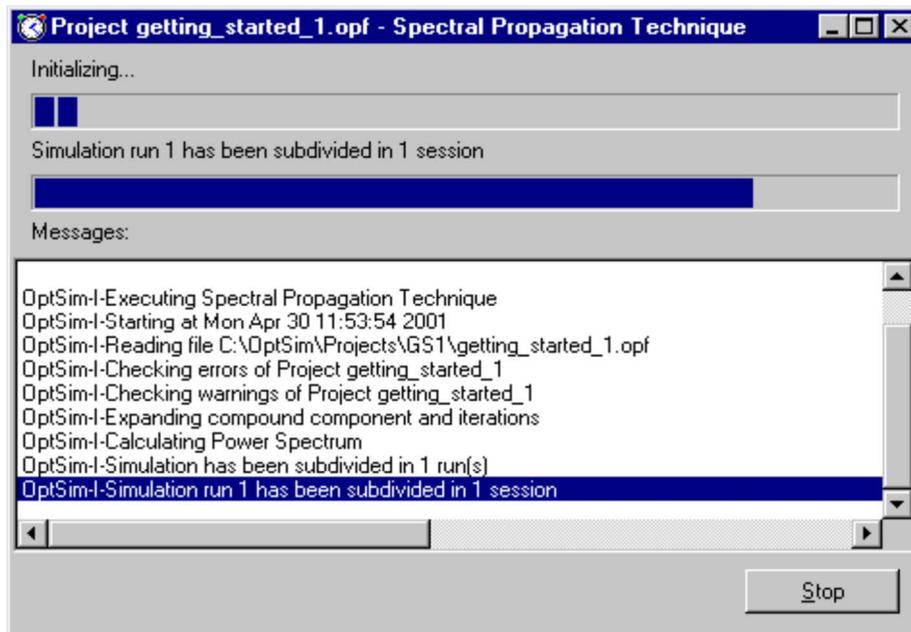


Figura 3.16 Ventana del Estado de la Simulación

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

Se tiene acceso a los resultados del SPT con un clic en cualquier acoplamiento óptico y después seleccionando en el menú el comando **Ver la carta del espectro de energía** (*View Power Spectrum Chart.*) Para los componentes ideales de la fibra se puede visualizar el espectro de la señal de entrada o salida. Los resultados del SPT son exhibidos como densidades espectrales de la energía y se puede integrar sobre la resolución de un ancho de banda dado. El ancho se puede modificar en la ventana de dialogo del medidor.

3.7.2 SIMULACIÓN DE VBS

VBS (*Simulation Technique Variable Bandwidth*, Técnica de Simulación de Ancho de Banda Variable), en donde la señal de todos los vectores es propagada, tanto los efectos lineales como no lineales son considerados. Esta técnica logra simular todos los componentes del sistema.

3.7.2.1 Comenzar el chequeo de VBS

Para iniciar esta revisión se hace clic en el botón del VBS chequeo (*check*)  o se puede elegir el comando de menú *simulate > VBS >check*.

3.7.2.2 Iniciar una simulación de VBS

1. Se inicia este procedimiento al elegir el comando del menú *simulate* > **VBS** > *start*, y aparecerá la ventana de diálogo mostrada en la figura 3.17:

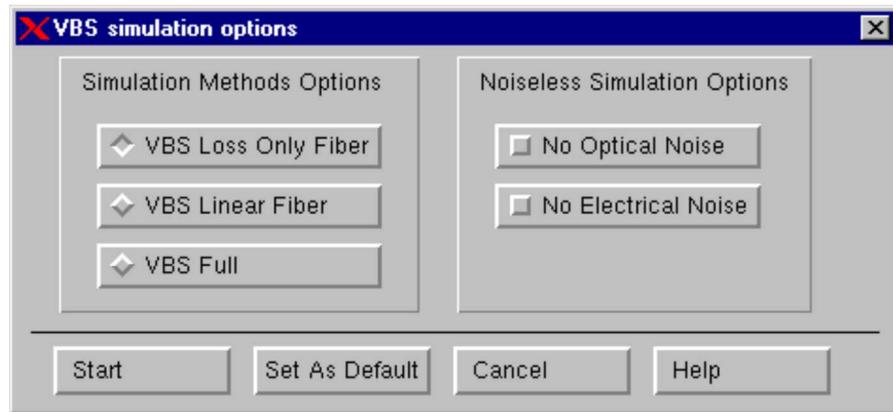


Figura 3.17 Ventana del Diálogo de las opciones de la simulación de VBS

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

2. Se muestran las tres técnicas de la simulación:
 - **Pérdida de la fibra VBS solamente**, en donde se simula la fibra y se considera solamente su atenuación.
 - **Fibra lineal de VBS**, donde se ejecuta un modelo lineal completo de la fibra.
 - **VBS por completo**, donde se considera un modelo completo de la fibra (los efectos lineales y no lineales)

Comúnmente se selecciona la opción **completa de VBS**. La ventana del estado de la simulación para una simulación de VBS se muestra en la figura 3.18.

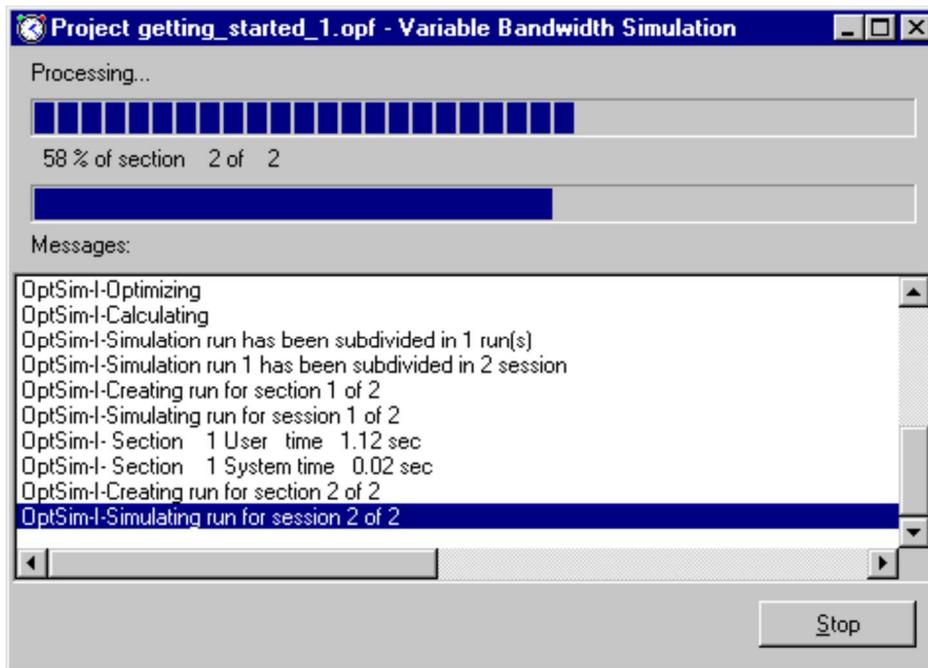


Figura 3.18 Ventana del estado de la simulación VBS

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.8 INICIAR LA HERRAMIENTA DE EXHIBICIÓN DE DATOS

Este procedimiento se inicia haciendo clic en el botón de exhibición de datos  en la barra de herramientas de la ventana del redactor de OptSim. Todos los resultados de la simulación tienen una estructura jerárquica, llamada también árbol de medidas.

3.8.1 AMPLIAR LOS SUBNIVELES

El árbol presenta todos los componentes de medida dibujados en el diagrama esquemático.

Serán enumerados todos los diagramas que cada componente puede exhibir. La ventana correspondiente se muestra en la figura 3.19.

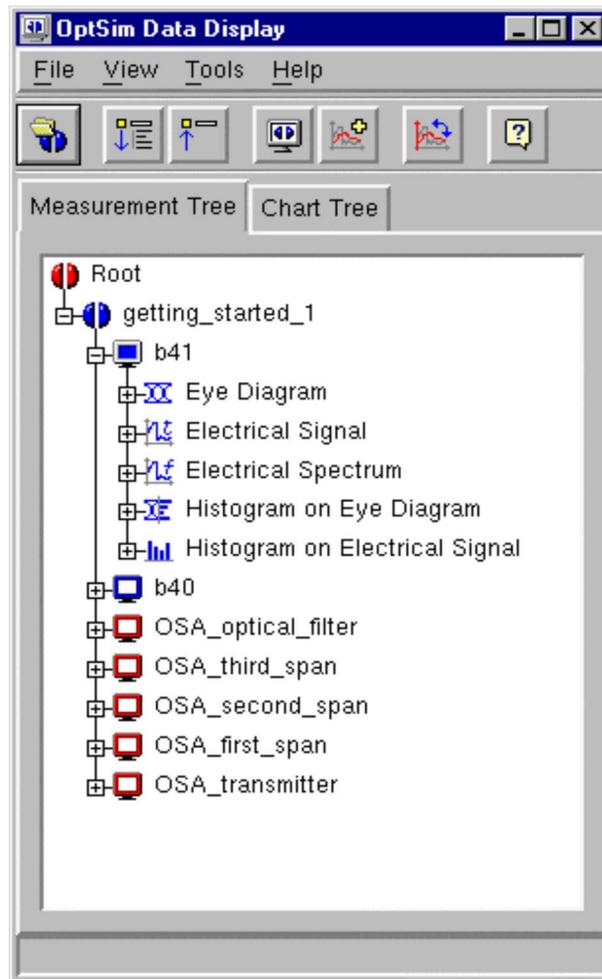


Figura 3.19 Ventana de la lista de la medida
Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

Por ejemplo, para exhibir un diagrama se procede de la siguiente manera:

Se debe dar clic derecho en el icono del **diagrama del ojo** y elegir el comando de menú **abrir**. Una ventana mostrará el diagrama eléctrico del ojo, como se muestra en la figura 3.20.

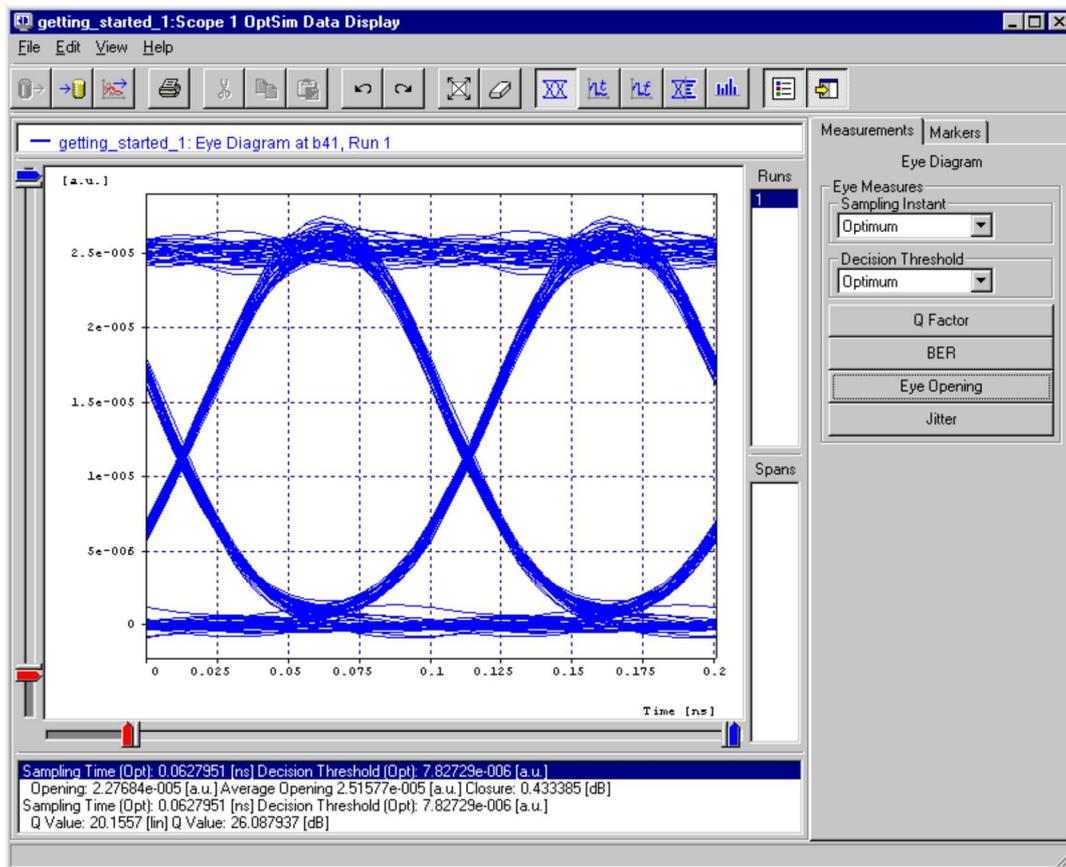


Figura 3.20 Diagrama de Ojo

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

En el diagrama de ojo se puede evaluar el factor Q, el BER y la abertura del ojo, en las condiciones óptimas (instante óptimo de muestreo y/o umbral de la decisión óptima) o en las condiciones dadas.

3.8.2 EVALUAR EL FACTOR Q Y LA APERTURA DEL OJO

El diagrama de ojo corresponde a un gráfico que muestra la superposición de las distintas combinaciones posibles de unos y ceros en un rango de tiempo o cantidad de bits determinados. El ancho y alto del ojo en el diagrama representa:

El Ancho del Ojo: Es el intervalo de tiempo sobre el cual la señal recibida puede estar sin mayores errores muestreados. En el diagrama representa la apertura horizontal del ojo.

El Alto del Ojo: Ésta es la apertura vertical del ojo y define el margen de ruido del sistema. El ruido presente en este tipo de apertura es conocido como Factor Q.

El procedimiento para evaluar el factor Q y apertura del ojo se detalla a continuación:

1. Deben estar configuradas las opciones: **óptima**, **instante del umbral** y la **decisión de muestreo**.
2. Se hace clic en el **factor Q**. Los valores de tiempo óptimo del muestreo, umbral de la decisión óptima y el valor del factor de Q serán exhibidos en el área de la medida.
3. Después de hacer clic en el botón de la **apertura del ojo**. Los valores que se exhiben son: tiempo óptimo del muestreo, umbral de la decisión óptima, el valor del encierro, el valor de la abertura y el valor medio de la abertura.

3.8.3 MOSTRAR EL ESPECTRO ÓPTICO

Para mostrar el espectro óptico se hace clic derecho en el icono del **espectro óptico** del componente y se debe elegir el comando de menú **abrir**. Una nueva ventana aparecerá exhibiendo el diagrama óptico del espectro, como se muestra en la figura 3.21.

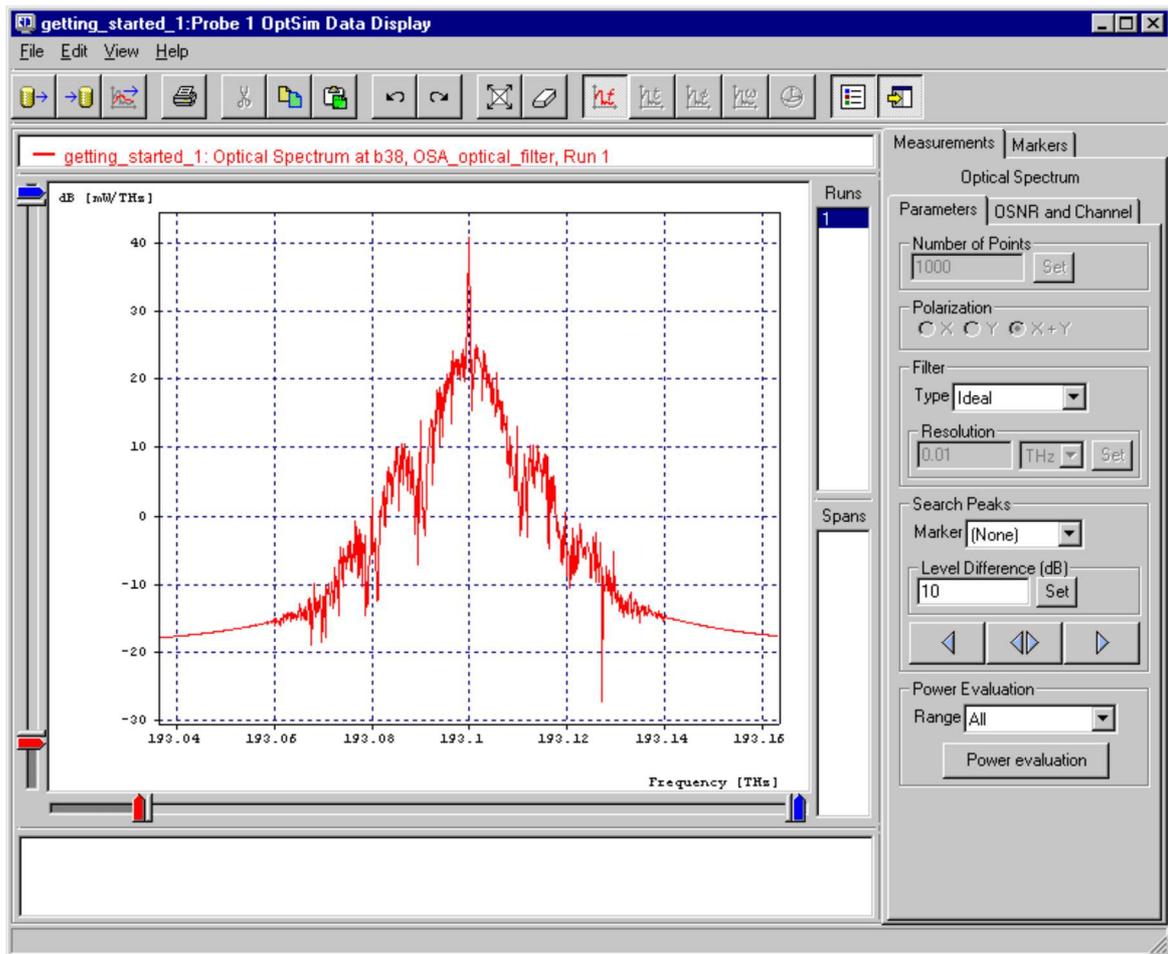


Figura 3.21 Espectro de Energía óptico en el OSA de la sección del receptor

Fuente: Manual OsUser del Simulador OptSim

3.9 APLICACIONES DE OPTSIM

OptSim es un simulador ideal de:

- Sistemas Amplificados DWDM/CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Longitud de Ondas ligeras); EDFA, SOA (*Service Oriented Architecture*, Arquitectura Orientada a Servicios), OPA (*Optical Parametric Amplifier*, Amplificador Óptico Paramétrico).
- Sistemas FTTx (*Fiber To The x*, Fibra hasta x, en donde “x” puede denotar distintos destinos), Sistemas PON (*Passive Optical Network*, Redes Ópticas Pasivas).

- Sistemas OTDM (*Optical Time Domain Multiplexing*, Multiplexación Óptica en Dominio Tiempo), Sistemas OCDMA (*Optical Code Division Multiple Access*, Sistemas Ópticos con Multiplexación por División en Código).
- Sistemas analógicos y digitales de CATV.
- Redes completamente ópticas (*All Optical Networks*).
- Sistemas terrestres y submarinos de largo alcance.
- Sistemas Soliton (sistemas en base de paquetes de luz que no se dispersan gracias al balance entre difracción/dispersión y no linealidad)
- FSO (*Free Space Optics*, Sistemas Ópticos por Espacio Libre)

En los diferentes sistemas a simularse en OptSim, se podrá obtener resultados de diversos parámetros, entre los cuales se pueden detallar los siguientes:

- Rango espectral y optimización de ganancia
- Optimización de los enlaces: balance de ganancias, mapa de dispersión.
- Análisis de sensibilidad de los sistemas.
- Evaluación de las pérdidas en la transmisión
- Diseño del medio: en el cual se describe, la tasa de transmisión, el espaciamiento de canales, número de canales que soporta y el mejoramiento de técnicas de modulación.

En el capítulo 4 se presentará el programa y syllabus actual de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica, después se aplicará todo lo que se ha analizado en los capítulos anteriores para desarrollar prácticas acerca de los sistemas de comunicación por fibra óptica mediante el simulador OptSim y finalmente se presentará un nuevo programa y syllabus de la asignatura en el que se incluyen las demostraciones recomendadas en este trabajo para se utilicen para incorporar un componente práctico como complemento de las clases teóricas que se imparten.

CAPITULO 4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE OPTSIM EN LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE FIBRA OPTICA

A continuación se detallará el programa y el syllabus de la asignatura Fibra Óptica, para posteriormente recomendar algunas prácticas que ayudaran al estudiante a un mejor entendimiento de la teoría.

4.1 PROGRAMA ACTUAL DE LA ASIGNATURA

Diseño de las unidades de estudio (UE)

UE I: La luz como medio de transmisión de información

Contenidos específicos: Luz solar y visibilidad. El espectro electromagnético. Propiedades de la luz. Reflexión. Transmisión-refracción. Absorción. La luz como portadora de información. Luz monocromática. Dispersión. Polarización. Refracción de la luz. Dispersión de la luz.

UE II: Las fibras ópticas

Contenidos específicos: Breve reseña histórica.. Aplicaciones de la fibra óptica. Los sistemas de comunicación. Ventajas y desventajas de los sistemas de fibra óptica. Compatibilidad de los elementos ópticos con los sistemas de comunicación. Fabricación de las fibras Ópticas.

UE III: Medio de transmisión óptico

Contenidos específicos: Tipos de fibra óptica. Mecanismos de propagación de la luz. Acoplamiento con la fibra óptica. Apertura numérica. Pérdidas por desacoplamiento de área. Parámetros de la fibra óptica. Las ventanas de transmisión. Comparación de los cables. Estructura del cable de fibra óptica. Fibra multimodo. Fibra multimodo de índice gradual. Fibra monomodo. Factores de atenuación. Pérdidas en la Fibra Óptica.

UE IV: Los sistemas de comunicación por Fibra Óptica

Contenidos específicos: Componentes de los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión. Conectores y empalmes. Las Fuentes ópticas. Los diodos LED. Los diodos LD. Los transmisores ópticos. Los detectores ópticos. Fotodetectores PIN. Fotodetectores de avalancha. Los receptores ópticos. Los amplificadores ópticos. Otros elementos que pueden incluirse en los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión. Criterios de diseño de un sistema de comunicación óptico.

4.2 SYLLABUS DE LA ASIGNATURA

El Syllabus es la programación detallada de la gestión del día en el aula de clase. El Syllabus actual de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica es el siguiente:

UE	Objetivo	Sistema de Clases	No. De Horas	Evaluación	Observaciones
I	Estudiar la luz como portadora de información óptica	C1.- Luz solar y visibilidad. El espectro electromagnético. Propiedades de la luz.	2		
		C2.- Reflexión. Transmisión-refracción. Absorción. La luz como portadora de información.	2		
		C3.- Luz monocromática. Dispersión. Polarización. Refracción de la luz. Dispersión de la luz.	2		

		CP1.- Exposición de trabajos de investigación acerca de la luz	2	Desarrollo grupal	
--	--	--	---	-------------------	--

II	Conocer las fibras ópticas como medio de transmisión y las leyes que determinan la transmisión de la luz a través de ellas.	C4.- Breve reseña histórica. Aplicaciones de la fibra óptica. Los sistemas de comunicación.	2		
		C5.- Ventajas y desventajas de los sistemas de fibra óptica. Compatibilidad de los elementos ópticos con los sistemas de comunicación.	2		
		C6.- Fabricación de las fibras Ópticas.	2		
		CP2.- Exhibición de videos acerca de los métodos de fabricación de fibra óptica	2	Desarrollo grupal	

III	Presentar al estudiante el cable de fibra óptica como un medio de transmisión y explicar las propiedades de la luz que permiten su propagación a través de dicho medio.	C7.- Tipos de fibra óptica.	2		
		C8.- Mecanismos de propagación de la luz.	2		
		C9.- Acoplamiento con la fibra óptica. Apertura numérica.	2		
		C10.- Pérdidas por desacoplamiento de área.	2		

		C11.- Parámetros de la fibra óptica.	2		
		C12.- Las ventanas de transmisión.	2		
		C13.- Comparación de los cables.	2		
		C14.- Estructura del cable de fibra óptica. Fibra multimodo. Fibra multimodo de índice gradual. Fibra monomodo.	2		
		C15.- Factores de atenuación. Pérdidas en la Fibra Óptica	2		
		CP3.- Exhibición de la atenuación en los sistemas de transmisiones ópticas.	2		

IV	Presentar al estudiante los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	C16.- Componentes de los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	2		
		C17.- Conectores y empalmes.	2		
		C18.- Las Fuentes ópticas.	2		
		C19.- Los diodos LED. Los diodos LD.	2		
		C20.- Los transmisores ópticos.	2		

	C21.- Los detectores ópticos.	2		
	C22.- Fotodetectores PIN.	2		
	C23.- Fotodetectores de avalancha.	2		
	C24.- Los receptores ópticos	2		
	C25.- Los amplificadores ópticos	2		
	C26.- Otros elementos que pueden incluirse en los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	2		
	C27.- Criterios de diseño de un sistema de comunicación óptico.	2		
	CP4.- Presentación de un empalme de fibra óptica	4	Desarrollo grupal	

4.3 PRÁCTICAS RECOMENDADAS

Para la instalación y desarrollo de las prácticas los requerimientos mínimos son:

- Procesador Pentium IV, a 1.8 GHz, 512 MB en RAM (*Random Access Memory*, Memoria de Acceso Aleatorio). Windows XP o Vista.
- Programa OptSim 3.5 y XWIN32.

A continuación se detallarán las prácticas que como resultado de este trabajo de investigación se recomienda se incluyan en el programa de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica.

4.3.1 PRÁCTICA # 1: SIMULACIÓN DE UN CANAL SIMPLE DE 10 GBPS.

Esta práctica corresponde a la implementación de un canal de 10 Gbps con señal NRZ óptica para una distancia de 50 km en una fibra monomodo estándar. En la sección del receptor se utiliza un preamplificador óptico de tipo EDFA, con bombeo a 980 nm. La señal óptica, resultante a su salida se filtra y posteriormente se detecta con un fotodetector PIN.

Las medidas a realizar incluyen el espectro de la señal eléctrica, el diagrama de ojo y la estimación del factor Q.

4.3.1.1 Desarrollo de la práctica

En la sección de transmisión se coloca una fuente de datos de 10 Gbps y por medio de un enlace lógico se conecta a un excitador (*driver*), cuya salida se lleva a un filtro eléctrico de tipo Bessel. Éste se conecta a un modulador de amplitud de tipo Mach Zehnder_ SIN^2 mediante un enlace eléctrico, al cual se lleva la señal óptica producida por un diodo láser de tipo CW Lorentzian utilizando un enlace óptico. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FUENTE DE DATOS:

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Datasource

Bit Rate (nominal) [Gbps]: 10

Number of bits per symbol: 1

Sequence: Pseudo_random

Pseudo Random Sequence Degree: Manual Degree: 9

Generating Polynomial: Deterministic

**ADVANCED*

Bit Edge: Deterministic

Bit Edge with respect to simulation start time [bit fraction]: 0

Starting Point: Deterministic

Starting Point in the sequence: 0

Synchronization signal Type: Pulse

EXCITADOR (DRIVER):

Name: NRZ

Signal Type and Shape: NRZ: Rectangular

Signal dynamics

- *Low level: -2.5*
- *High level: 2.5*

FILTRO ELÉCTRICO:

Name: Bessel

Type: Bessel

MODULADOR DE AMPLITUD:

Name: Sin2_MZ

Type: Sin²

Excess loss [dB]: 4

DIODO LASER:

Name: CW_Lorentzian

Type: CW Lorentzian

Laser center emission frequency: [nm] 1550 [THz] 193.4144890

Status: 1

En la sección de enlace óptico la salida del modulador de amplitud se conecta a un tramo de fibra de 50 km mediante un empalme (*splice*) y a la salida de la fibra se utiliza otro empalme para la conexión al receptor. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FIBRA:

**BASIC ATTRIBUTES*

Type: Standard_SM, (single mode, monomodo).

Length [Km]: 50

Length Statistical Variation %: 0

**ADVANCED CONTROL*

Fiber Non-Linearity: On

Raman Crosstalk: Off

Fiber PMD: On

Fiber Birefringence: On

Polarization original frame recovering: On

**RAMAN AMPLIFIER*

Raman Amplifier: Off

En la sección de recepción mediante un divisor óptico (*optical splitter*) se lleva la señal óptica a la entrada del preamplificador EDFA así como a un analizador de espectros óptico. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

PREAMPLIFICADOR EDFA:

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Preamplifier

Type: Physical Model

**ADVANCED*

Force time domain gain computation: No

DIVISOR OPTICO (*OPTICAL SPLITTER*):

Attenuation on each output [dB]: 0

Attenuation on each output [lin]: 1

ANALIZADOR DE ESPECTRO:

Name: Output

Number of Spectrum Points over the simulation Bandwidth: 1000

El receptor se completa con un filtro de característica de Lorentz seguido de un fotodiodo tipo PIN. Una vez convertida la señal óptica a eléctrica, se lleva a un separador eléctrico configurado por *default* para poder visualizar la señal con el empleo de un analizador de espectros, mientras que la otra salida se pasa por un filtro tipo Bessel para completar la recepción. A la salida de este filtro se conecta un osciloscopio para visualizar la señal recibida.

La configuración de los parámetros es de la siguiente manera:

FILTRO ÓPTICO:

Name: Lorentzian

Type: Multiple-Stage Lorentzian

Filter Synthesis: Bandpass

ANALIZADOR DE ESPECTRO ELÉCTRICO:

Name: Received_prefiltering

Displayed Frequency Range

- *Start [GHz]: 0*

- *Stop [GHz]: 50*

Number of Spectrum Points over the displayed Bandwidth: 500

OSCILOSCOPIO ELÉCTRICO (*ELECTRICAL SCOPE*):

Name: Received

Bit-Rate

Nominal [Gbps]: 10

Time Resolution: Custom

Numbr of visualized points per bit: 10

Measured time-span: Whole

Las tres secciones descritas se muestran en el diagrama de la figura 4.1:

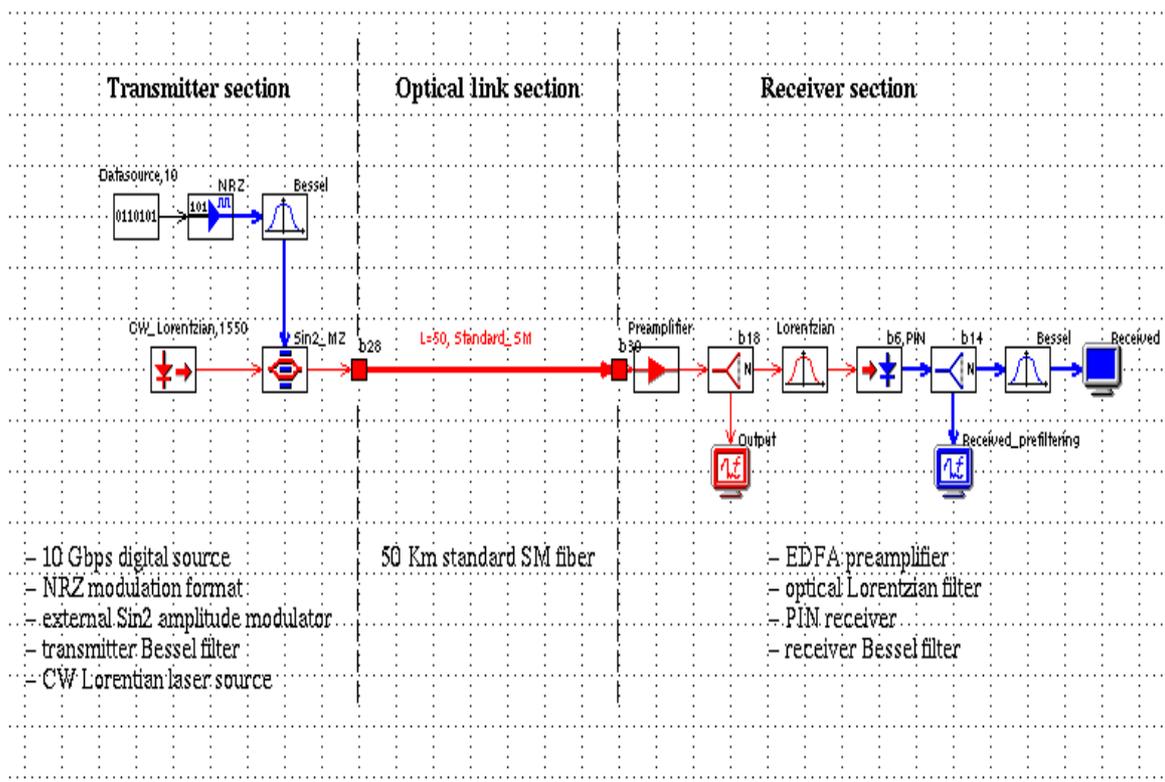


Figura 4.1 Diagrama de la simulación de un canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

La salida correspondiente al espectro óptico se muestra en la figura 4.2.

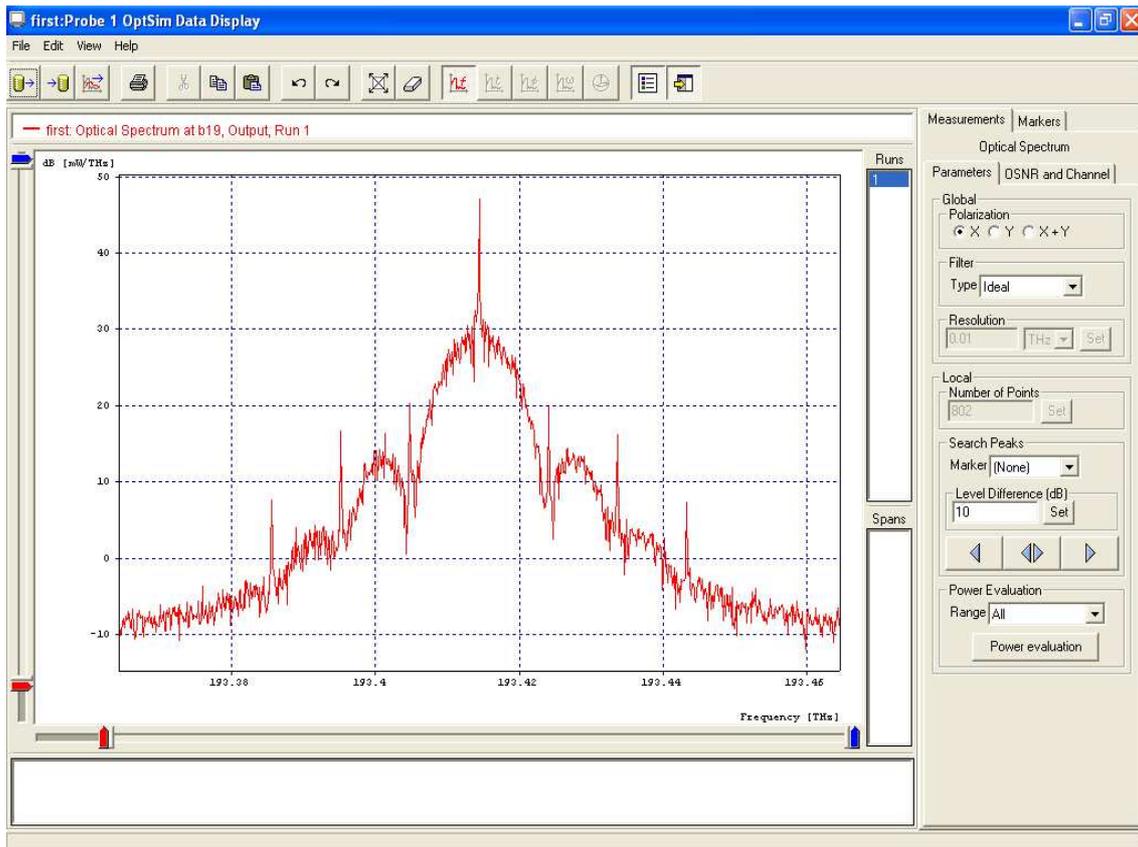


Figura 4.2 Espectro Óptico Output de un canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles (mW/THz) vs frecuencia (THz),

Máxima frecuencia pico: 193,415 THz

Máxima potencia pico: 47,156940 dB

Como resultado de esta práctica se puede obtener el Diagrama de ojo mostrado en la figura 4.3.

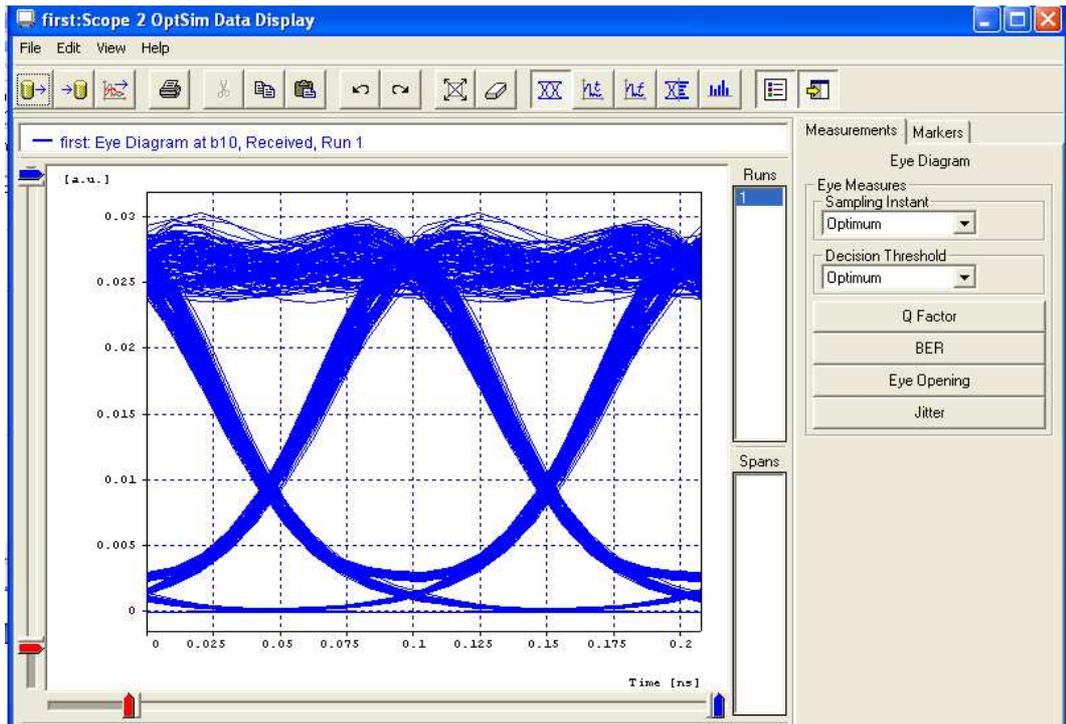


Figura 4.3 Diagrama de ojo de un canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador Optsim

El diagrama de ojo permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: 0,0249951

Apertura horizontal $\approx 0,10\text{ns}$

La medida de la tasa de error BER se la observa en la figura 4.4.

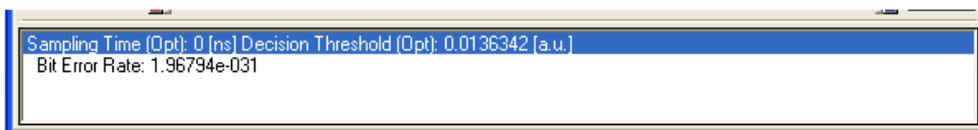


Figura 4.4 BER de un canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El BER es $1,96794 \times 10^{-31}$ el cual está dentro del rango de un muy buen valor.

El resultado correspondiente al factor Q se presenta en la figura 4.5.

Sampling Time (Opt): 0 [ns] Decision Threshold (Opt): 0.0136342 [a.u.]
Q Value: 11.9636 [lin] Q Value: 21.557257 [dB]
Sampling Time (Opt): 0 [ns] Decision Threshold (Opt): 0.0136342 [a.u.]
Bit Error Rate: 1.96794e-031

Figura 4.5 Factor Q de un canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor de Q registrado es 21,557257 dB.

El diagrama del espectro eléctrico en el pre filtrado de la recepción se muestra en la figura 4.6.

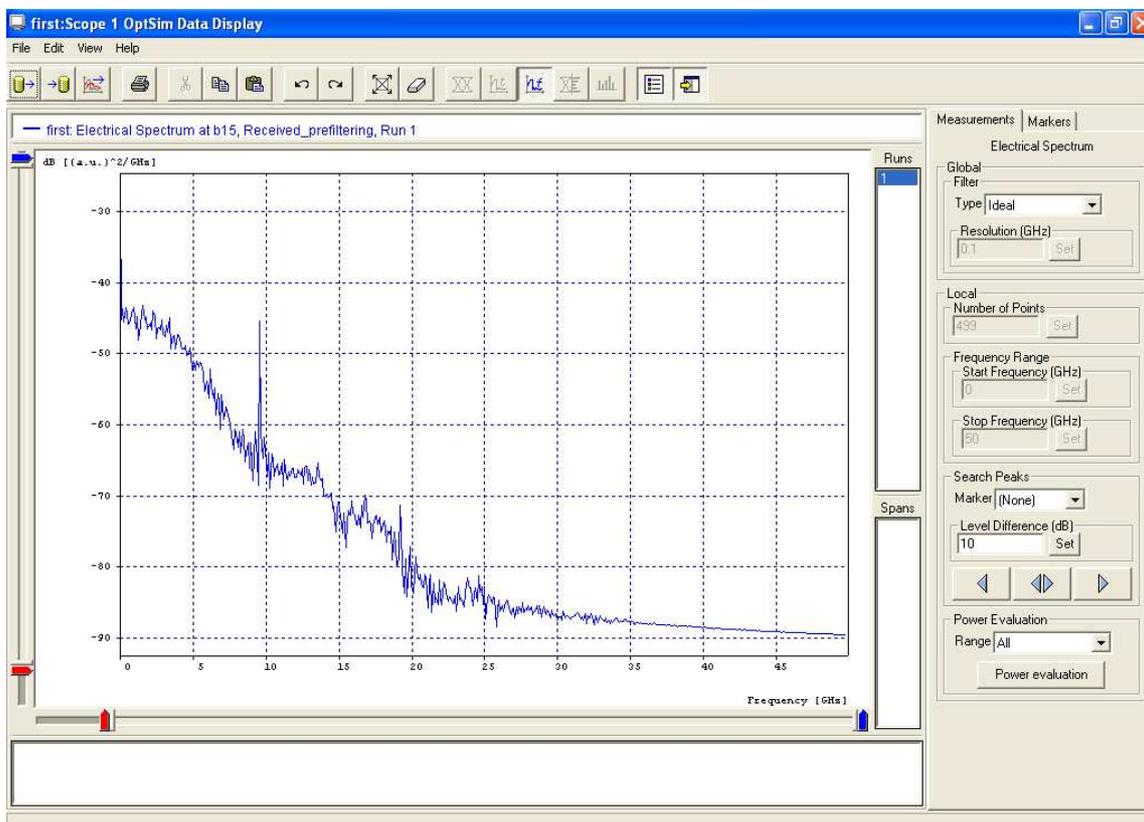


Figura 4.6 Diagrama del espectro eléctrico en el pre filtrado de la recepción

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles vs frecuencia (GHz), del cual se observa:

Máxima frecuencia pico: 0 GHz

Máxima potencia pico: -27,917183 dB

La figura 4.7 muestra el diagrama del espectro eléctrico en la recepción.

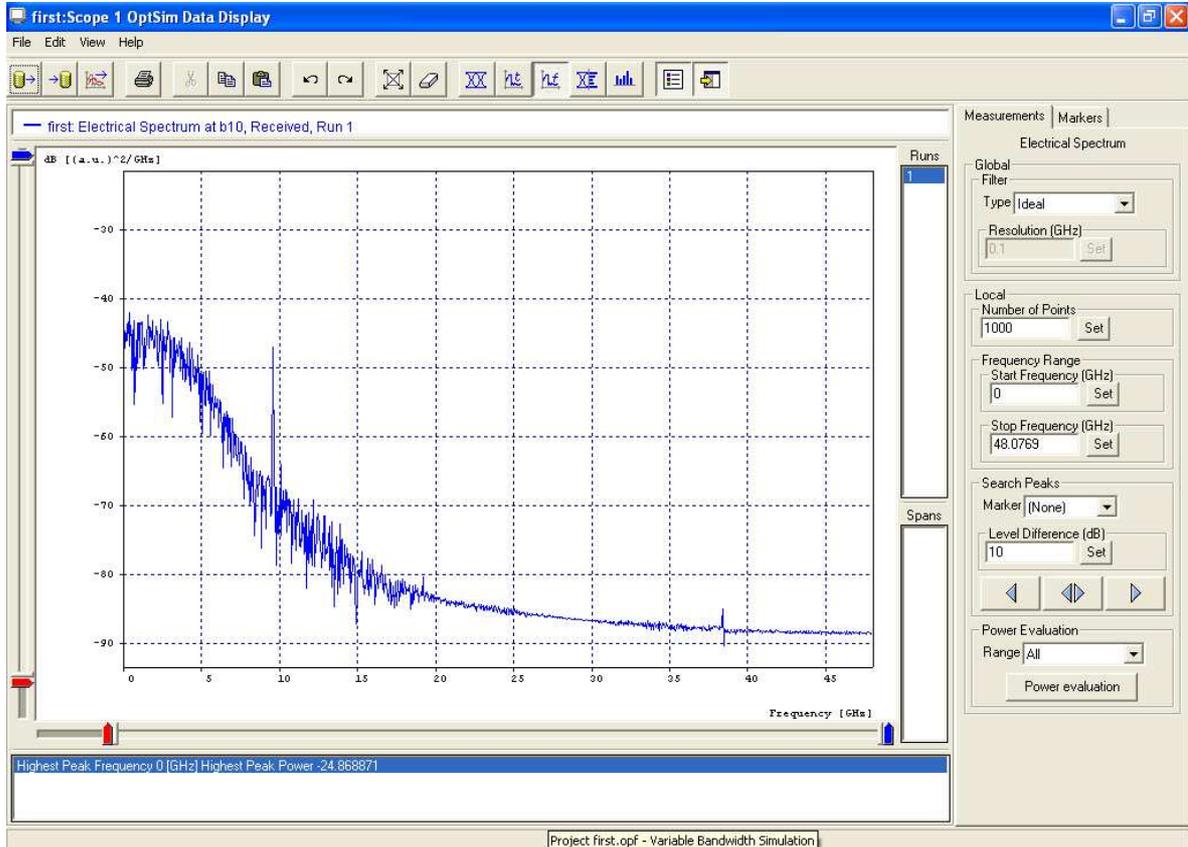


Figura 4.7 Diagrama del espectro eléctrico en la recepción del canal simple de 10 Gbps

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles vs frecuencia (GHz), del cual se observa:

Máxima frecuencia pico: 0 GHz

Máxima potencia pico: -24.868871 dB

4.3.2 PRÁCTICA # 2: MEDIDA DE LA DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

Este ejemplo ilustra uno de los métodos más sencillos para medir la dispersión promedio de un tramo de fibra.

Este método requiere medir la función de transferencia "eléctrico-a-eléctrico" de un enlace compuesto de un modulador óptico lineal, un tramo de fibra sometido a prueba y un fotodiodo. La dispersión promedio está relacionada con el primer cero de la función de transferencia.

La siguiente ley expresa la f_u (frecuencia resonante) correspondiente al u^{th} de ceros de la función de transferencia:

$$f_u^2 L = \frac{c}{2D\lambda^2} \left(1 + 2u - \frac{2}{\pi} \arctan(\alpha) \right)$$

$$D = \frac{c}{2Lfu^2\lambda^2} \left(1 + 2u - \frac{2}{\pi} \arctan(\alpha) \right)$$

En donde L es la longitud de la fibra, D es la dispersión de la fibra y α es el chirp del modulador.

4.3.2.1 Desarrollo de la práctica

En el sistema de fibra lineal, se coloca un generador de ruido eléctrico en la sección de transmisión, el cual por medio de un enlace eléctrico se conecta a un modulador de amplitud de tipo Linear_MZ, al cual se lleva la señal óptica producida por un diodo láser de tipo CW Lorentzian utilizando un enlace óptico. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

GENERADOR DE RUIDO ELECTRICO:

Name: Gaussian_noise_generator

Type: Gaussian

Mean (Au): 2.5

Standard Deviation (Au): 0.1

One/sided spectral density: -36.085040326

MODULADOR DE AMPLITUD:

Name: Linear_MZ

Excess loss (db): 6

Type: Linear

**Basic Attributes*

Transmission per applied Volt: 20

**Spectral Estimation:*

dB: 3 lineal:0.707945784384

LASER:

Name: Ideal_CW_Lorentian_laser

Type: CW Lorentzian

Laser Center emission frequency: 1550nm y 193.414489032 THz

Status: 1

**CW LORENTZIAN*

dBm: 6.98970004336

mW: 5

Laser Phase: Deterministic

Laser Noise Bandwidth: Ideal

En la sección de enlace óptico la salida del modulador de amplitud se conecta a un tramo de fibra de 100 km y éste a la sección receptora. La configuración de los parámetros se detalla a continuación:

FIBRA:

**BASIC ATTRIBUTES*

Type: THis_Fiber_Only

Length: 100

**ADVANCED CONTROL*

Fiber Non-Linearity: off

Fiber PMD: On

Fiber Birefringence: On

Polarization original frame recovering: On

En la sección del receptor se conecta un fotodiodo tipo PIN, el cual recibe la señal óptica y la convierte a señal eléctrica, finalmente para poder visualizar la señal se emplea un analizador de espectro eléctrico. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FOTODIODO:

Name: RX

Photodiode Type: Pin

Reference Frequency/Wavelength: 193.414489032THz y 1550nm

Quantum Efficiency: 0.719914102996

Responsivity: 0.9

Dark Current: 0.01

ANALIZADOR DE ESPECTRO ELECTRICO:

Name: Received_spectrum

Start: 0

Stop: 30

Number of Spectrum Points Over the Displayed Bandwidth: 500

Las secciones descritas anteriormente se muestran en el diagrama de la figura 4.8:

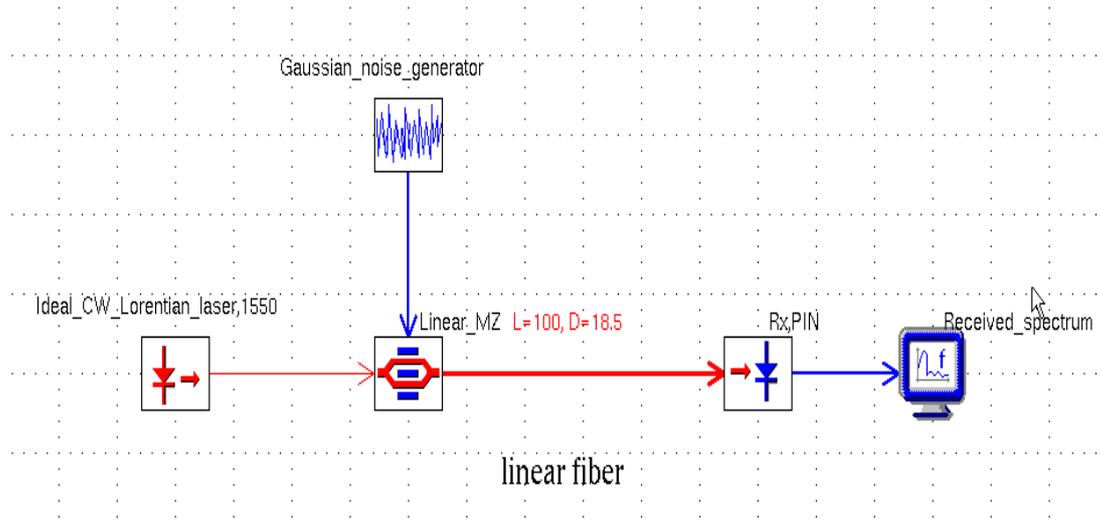


Figura 4.8 Medida de la dispersión en la fibra óptica
 Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Como resultado de esta práctica se puede obtener el espectro eléctrico del diseño, el cual se muestra en la figura 4.9.

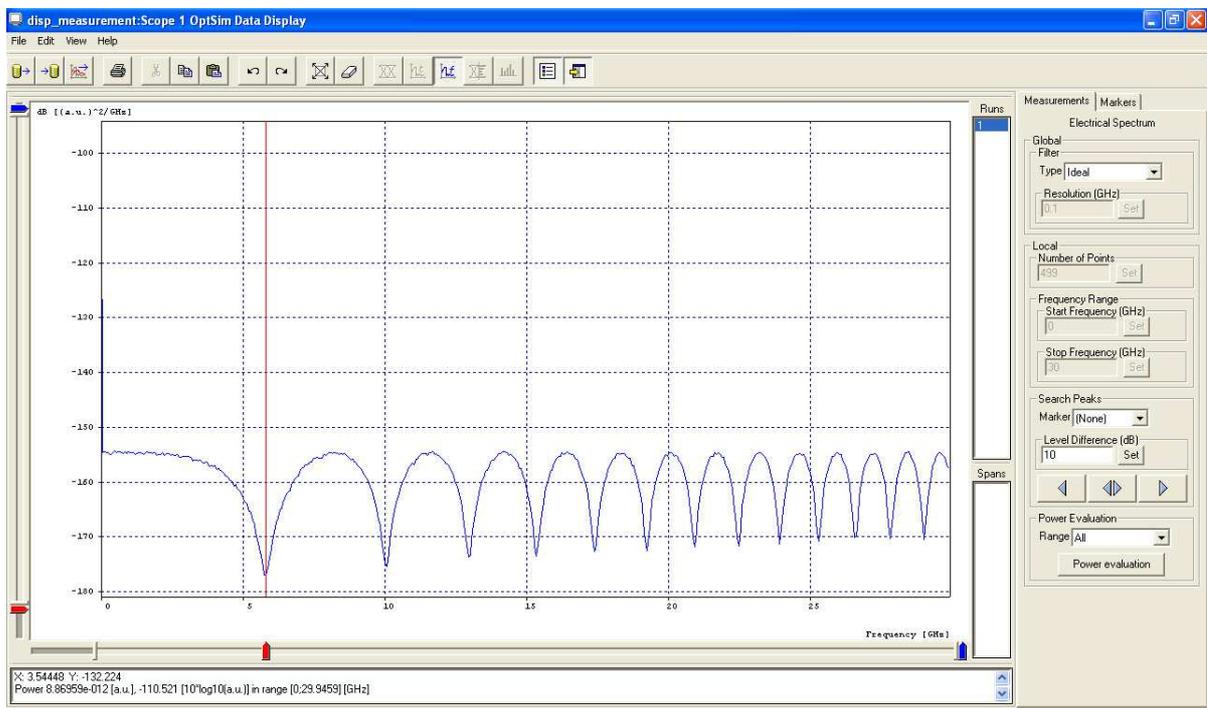


Figura 4.9 Diagrama del espectro eléctrico de la dispersión en la fibra óptica
 Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles vs frecuencia (GHz), del cual se observa:

Máxima frecuencia pico: 0 GHz

Máxima potencia pico: -98,306099 dB

4.3.3 PRÁCTICA # 3: COMPENSACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LA FIBRA

Esta práctica ilustra la manera de compensar la dispersión de la fibra con el método de las rejillas de fibras (*fiber grating*).

Se establece un canal de 10 Gbps con señal de tipo NRZ a lo largo de 100 km de una fibra monomodo estándar. La compensación de la dispersión se realiza utilizando el modelo definido por el usuario para la componente de rejilla de la fibra. Prácticamente cualquier función de transferencia de la rejilla de la fibra se puede implementar utilizando este modelo definido por el usuario.

4.3.3.1 Desarrollo de la práctica

Se comienza la práctica por medio de la sección de transmisión en la cual se coloca una fuente de datos de 10 Gbps y por medio de un enlace lógico se conecta a un excitador (*driver*) utilizando el código o formato de línea de tipo NRZ, cuya salida se conecta a un modulador de amplitud de tipo Mach Zehnder_LIN mediante un enlace eléctrico. A dicho modulador se lleva la señal óptica producida por un diodo láser de tipo CW Lorentzian a 1550 nm utilizando un enlace óptico.

Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FUENTE DE DATOS:

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Datasourse

Bit Rate (nominal) [Gbps]: 10
Number of bits per symbol: 1
Sequence: Pseudo_random
Pseudo Random Sequence Degree: Automatic
Generating Polynomial: Deterministic
**ADVANCED*
Bit Edge: Deterministic
Bit Edge with respect to simulation start time [bit fraction]: 0
Starting Point: Deterministic
Starting Point in the sequence: 0
Synchronization signal Type: Pulse

EXCITADOR (DRIVER):

Name: NRZ
Signal Type and Shape: NRZ: Rectangular
Signal dynamics
Low level: -2.5 High level: 2.5

MODULADOR DE AMPLITUD:

Name: Linear_MZ
Type: Linear Excess loss [dB]: 3

DIODO LASER:

Name: CW_Lorentzian Type: CW Lorentzian
Laser center emission frequency: [nm] 1550 [THz] 193.4144890
Status: 1

En la sección del enlace óptico se conecta la salida del modulador de amplitud a un divisor óptico mediante un enlace óptico de fibra estándar SM de 100 Km de longitud.

DIVISOR OPTICO (*OPTICAL SPLITTER*):

Attenuation on each output [dB]: 0

Attenuation on each output [lin]: 1

FIBRA:

**BASIC ATTRIBUTES*

Type: Standard_SM

Length [Km]: 100

Length Statistical Variation %: 0

**ADVANCED CONTROL*

Fiber Non-Linearity: Off

Fiber PMD: Off

Fiber Birefringence: Off

**RAMAN AMPLIFIER: Off*

En la sección de Recepción una salida del divisor óptico se lleva a un fotodiodo de tipo PIN mediante un enlace óptico y con uno eléctrico se conecta la salida de dicho diodo a un filtro de característica gaussiana, a cuya salida se conecta un osciloscopio para la observación de la señal recibida sin compensación.

La otra salida del divisor óptico se lleva al compensador de dispersión, siguiendo posteriormente el mismo camino indicado anteriormente. La señal recibida, con compensación de la distorsión, se observa en otro osciloscopio eléctrico.

FILTRO ELÉCTRICO:

Name: Gaussian

Type: User Defined

OSCILOSCOPIO ELÉCTRICO (*ELECTRICAL SCOPE*):

Bit-Rate

Nominal [Gbps]: 10

Time Resolution: Custom

Number of visualized points per bit: 15

Measured time-span: Whole

COMPENSADOR DE DISPERSIÓN:

Name: Dispersión_Compensator

Type: User-Defined Fiber Grating

Las tres secciones descritas se muestran en el diagrama de la figura 4.10:

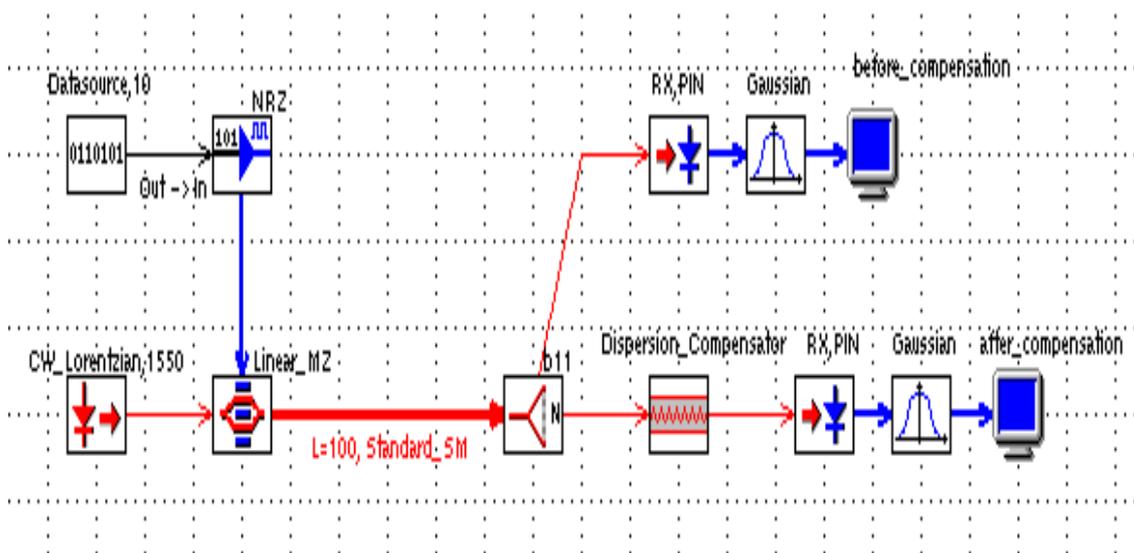


Figura 4.10 Diagrama de la compensación de la dispersión de la fibra

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Como resultado de esta práctica se puede obtener el Diagrama de ojo antes de la compensación (figura 4.11):

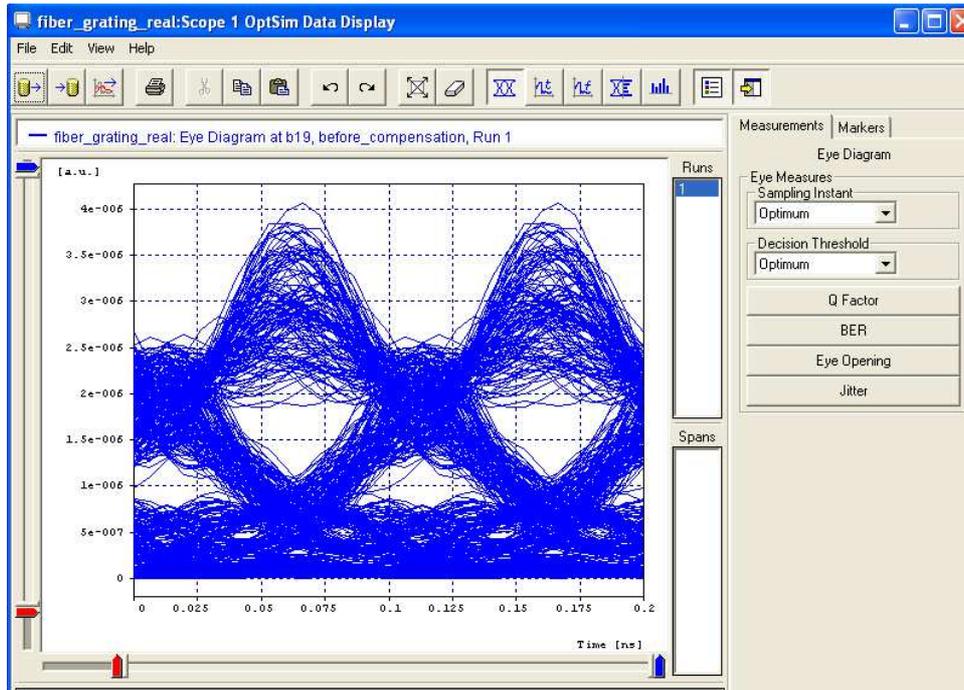


Figura 4.11 Diagrama de ojo antes de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama de ojo que se presenta permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: $1,59728 \times 10^{-006}$

Apertura horizontal $\approx 0.75\text{ns}$

La figura 4.12 muestra la BER antes de la compensación:



Figura 4.12 BER antes de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor del BER es $1,14996 \times 10^{-003}$ el cual es un pésimo valor.

En la figura 4.13 se puede observar el Factor Q antes de la compensación:

Sampling Time (Opt): 0.00666667 [ns] Decision Threshold (Opt): 1.00882e-006 [a.u.] Q Value: 3.09968 [lin] Q Value: 9.826337 [dB] Sampling Time (Opt): 0.00666667 [ns] Decision Threshold (Opt): 1.00882e-006 [a.u.] Bit Error Rate: 0.00114996

Figura 4.13 Factor Q antes de la compensación

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor de Q registrado es 9,826337 dB

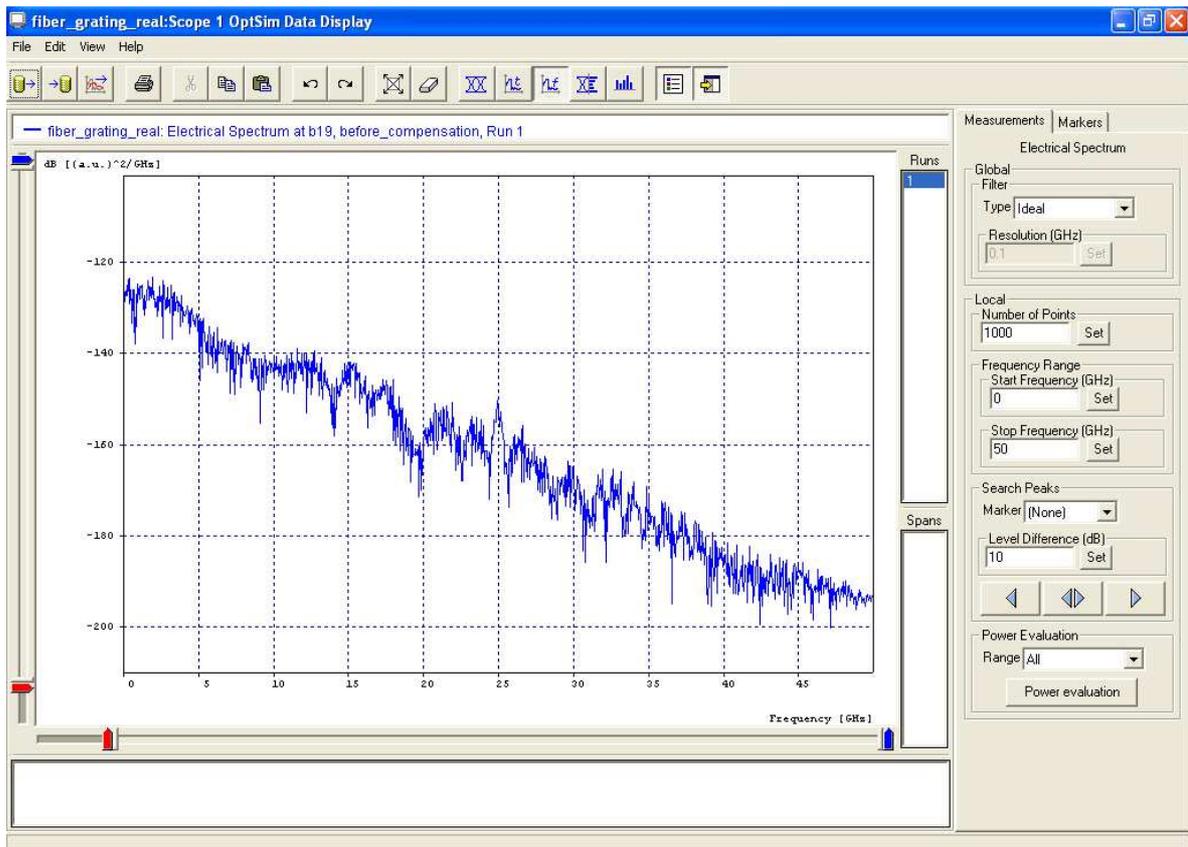


Figura 4.14 Diagrama del espectro eléctrico antes de la compensación

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles vs frecuencia (GHz), del cual se observa:

Máxima frecuencia pico: 0 GHz

Máxima potencia pico: -106,292040 dB

Después de la compensación se obtiene el diagrama de ojo mostrado en la figura 4.15:

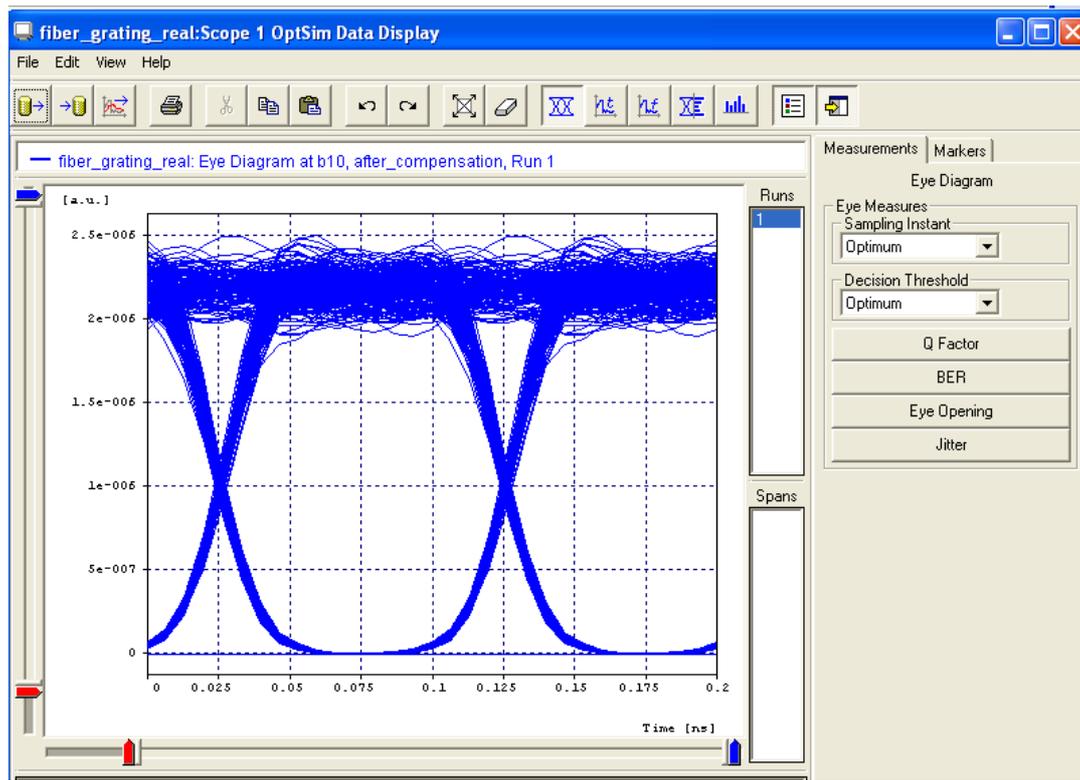


Figura 4.15 Diagrama de ojo después de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama de ojo que se presenta permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: 2.18363×10^{-006}

Apertura horizontal $\approx 0.1 \text{ ns}$

La BER obtenida después de la compensación se muestra en la figura 4.16:

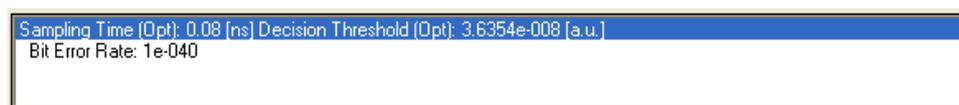


Figura 4.16 BER después de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor del VER es 1×10^{-040} el cual está dentro de un excelente valor.

La figura 4.17 muestra el Factor Q después de la compensación, el valor de Q se registra 27,983963 dB.

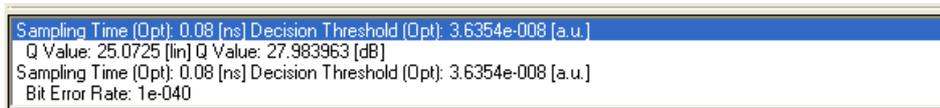


Figura 4.17 Factor Q después de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama del espectro eléctrico después de la compensación se muestra en la figura 4.18.

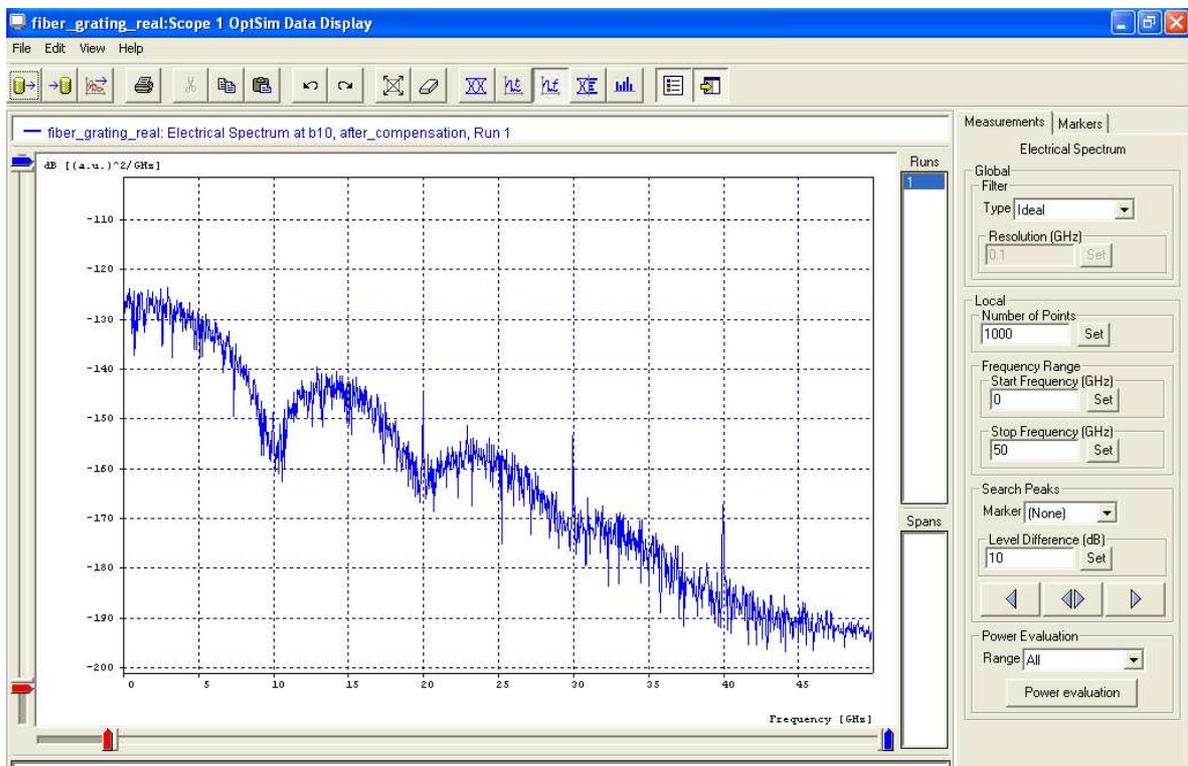


Figura 4.18 Diagrama del espectro eléctrico después de la compensación
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El espectro eléctrico muestra valores de decibeles vs frecuencia (GHz), del cual se observa:

Máxima frecuencia pico: 0 GHz

Máxima potencia pico: -106,247209 dB

4.3.4 PRÁCTICA # 4: BER (TASA DE BITS ERRÓNEOS)

Este ejemplo muestra el estudio de la BER y el factor Q en la simulación de un sistema óptico.

En un experimento de laboratorio o campo, la BER puede ser fácilmente medida y con precisión, utilizando equipos profesionales de medición. De lo contrario, la evaluación de la BER suele ser una tarea muy difícil en el ambiente de un software simulador por las siguientes razones:

- La referencia BER para un sistema de comunicación óptica es muy baja (inferior a 10^{-9})
- La estadística de ruido a la salida del enlace, después del proceso de la fotodetección es generalmente desconocida o muy compleja debido a la no-linealidad entre la señal y el ruido de la fibra, en el proceso de fotodetección y en otros dispositivos no lineales situados a lo largo del enlace.
- La señal a la salida del enlace es generalmente el efecto de una interferencia intersímbolos.
- El número de bits simulados está limitado con respecto al tipo de CPU disponible.

4.3.4.1 Desarrollo de la práctica

En la sección de transmisión se coloca una fuente de datos de 10 Gbps por medio de un enlace lógico se conecta a un excitador (*driver*) del tipo NRZ, y este se conecta a un modulador de amplitud de tipo \sin^2 mediante un enlace eléctrico, a dicho modulador se lleva la señal óptica producida por un diodo láser de tipo CW Lorentzian utilizando un enlace óptico.

Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

DATA SOURCE

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Datasource_10Gbps

Bit rate: 10.

Number per bit: 13

Sequence: pseudo_random

Pseudo Random Sequence Degree:Manual: 8

Generating Polynominal: Random

**ADVANCED*

Bit edge: Random

Starting point: Random

Synchronization signal type: Pulse

DRIVER

Name:NRZ_rectangular_driver

Signal Type and Shape: Nrz/rectangular

Low level: -2,5 High level: 2,5

LASER

Name: CW_laser

Type: CW Lorentzian

Laser Center emission frecuency: 1550 nm y 193.414489032THz

Status: 1

** CW Lorentzian*

dBm: 3

mW: 1.99526231497

Line width: 10 MHz y 99.4987437107 MHz

Laser phase: Random

Laser Noise Bandwidth: Ideal

MODULADOR DE AMPLITUD

Name: sin2_modulator

Excess Loss (dB): 0

Type: Sin2

**BASIC ATTRIBUTES*

Maximum transmissivity offset voltage: 2.5

Extinction ratio: Ideal

Chirp Factor: 0

V: 5

Electrical Filtering: no

**Spectral Estimation: 3dB y 0.707945784384 linear*

En la sección de Enlace Óptico se conecta la salida del modulador de amplitud a un atenuador óptico variable y este a un divisor óptico que lleva la señal óptica a la entrada de un receptor sensible, esto a través de enlaces ópticos. Además se conecta un medidor receptor de la potencia de entrada, en el divisor óptico.

La configuración de los parámetros se detalla de la siguiente manera:

OPTICAL ATTENUATOR

Name: Variable_Attenuator

Attenuation: att

FIBRA: Ideal

OPTICAL SPLITTER

Attenuation output (dB): 0

Attenuation output (lin): 1

En la sección de recepción, una vez convertida la señal óptica a eléctrica por el receptor óptico sensible, la señal pasa por un filtro tipo Bessel para completar la recepción. A la salida del filtro se conecta un divisor eléctrico, del cual se lleva la señal eléctrica a la entrada de un estimador del Factor Q, de la BER y del osciloscopio eléctrico para visualizar la señal recibida.

La configuración de los parámetros es de la siguiente manera:

SENSITIVITY OPTICAL RECEIVER

**BASIC ATTRIBUTES*

Bit Rate: 10

Optical Test Pulse Shape: NRZ Rectangular

Sensitivity under test condition: -25

Sensitivity error probability: 1e-09

Overall Receiver Responsivity: 1

**RECEIVER FILTERS*

Optical filters: none

Test Post-Detection Electrical Filter: Bessel

Order: 3

Normalized -3dB frequency: 0,7

**ADVANCED*

Reference Frequency/Wavelength: 193.414489032 THz y 1550nm

Quantum Efficiency: 0.75

Responsivity: 0.9376118584

Photodiode Type: Pin

Quantum Photodetection noise: no

BESSEL

Name: Bessel_filter

Lowpass

Number Of Poles: 3

-3dB Bandwidth: 7

Amplitud plots: NO

Q_estim ,Electrical_scope, BER_estim : Nominal = 10Gbits/sg

Las secciones descritas se muestran en el diagrama de la figura 4.19:

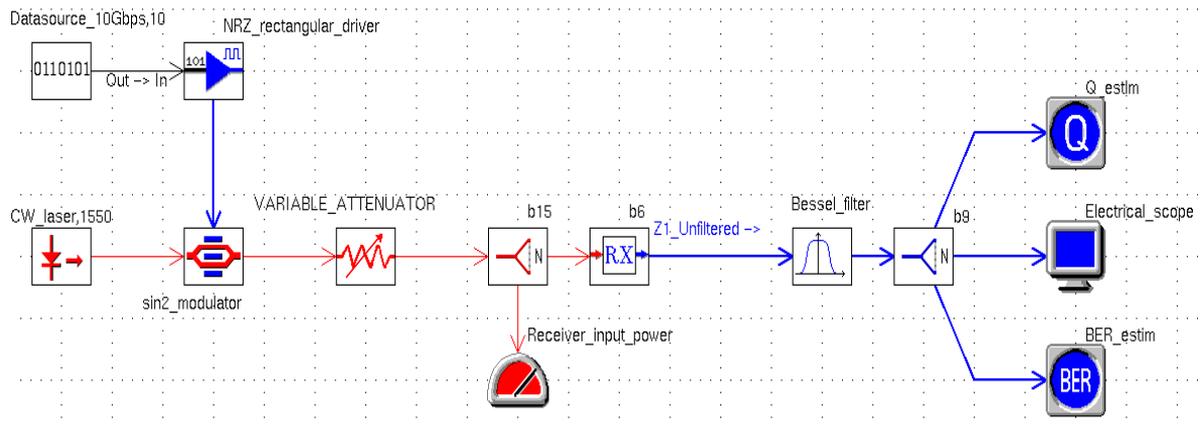


Figura 4.19 Diagrama del sistema para medir el BER
 Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Como resultado de esta práctica se puede obtener el Diagrama de ojo (figura 4.20) y el factor Q (Figura 4.21):

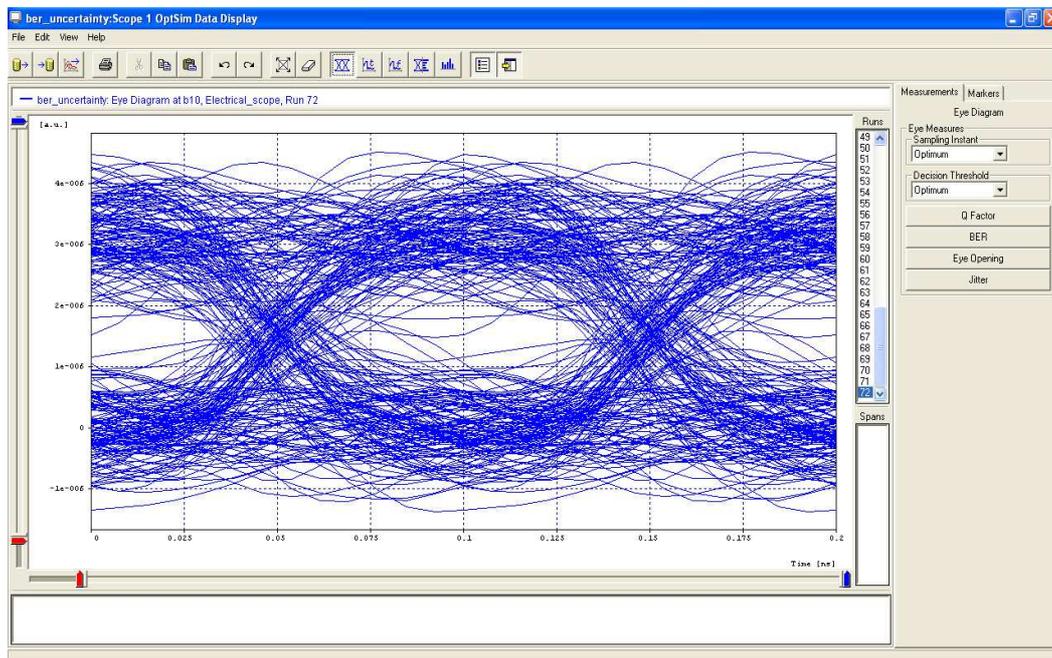


Figura 4.20 Diagrama de ojo para medir el BER
 Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama de ojo que se presenta permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: $3,1853 \times 10^{-006}$

Apertura horizontal $\approx 0.05\text{ns}$



Figura 4.21 Factor Q del sistema

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor del BER es $1,04143 \times 10^{-3}$ el cual es un valor no aceptable durante la transmisión. El valor de Q se registra 9,776349 dB

- El factor Q y la BER tienen una incertidumbre intrínseca que decrece mientras se incrementa el número de los bits simulados.
- Por lo menos algunos cientos de bits deben ser simulados para tener una medición suficientemente precisa.
- El usuario siempre debe ser consciente de estos resultados.

4.3.5 PRÁCTICA # 5: FUENTE OPTICA MQW (*Multim-Quantum Well*, Múltiples Pozos Cuánticos) DE UN SISTEMA DE TRANSMIÓN DE FIBRA ÓPTICA

En esta práctica, se utiliza un láser modulado externamente MQW como fuente de un sistema de un solo canal, está constituido por una sección de diodo láser y una sección de modulador óptico.

El láser se predispone a diferentes niveles: por debajo, cerca y por encima del umbral. La señal óptica se propaga en un enlace de 100 km de fibra. Al final de la propagación óptica se realiza un filtrado y un fotodetector PIN detecta la señal. Desde los bloques de medición, es posible estimar el rendimiento del sistema por medio del Diagrama de Ojo y la estimación del valor de Q. Por otra parte las curvas disponibles en el OptSim *Data Display*, muestran el comportamiento del láser.

4.3.5.1 Desarrollo de la práctica

En la sección de transmisión se coloca una fuente de datos de 10 Gbps y por medio de un enlace lógico se conecta a un excitador (*driver*) utilizando el código de línea de tipo NRZ, dicha salida se conecta mediante un enlace eléctrico a un modulador de amplitud de tipo Sin2_MZ. Este modulador recibe una señal a través de un enlace óptico, dicha señal es producida por un láser modulado externamente MQW a 1550 nm, el cual está conectado a un generador de onda eléctrica, por medio de un enlace del mismo tipo. Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

DATA SOURCE

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Datasource_10Gbps

Bit rate: 10.

Number per bit: 1

Sequence: Pseudo_random

Pseudo Random Sequence Degree: Manual: 7

Generating Polynominal: Random

**ADVANCED*

Bit edge: Random

Starting point: Random

Synchronization Signal Type: Pulse

DRIVER

Name: NRZ

Signal Type and Shape: Nrz/rectangular

Low level: -2.5

Hig level: 2.5

MODULADOR DE AMPLITUD

Name: Sin2_MZ

Excess Loss (dB):3

Type: Sin2

**BASIC ATTRIBUTES*

Maximum transmissivity offset voltage: 2.5

Extinction ratio: Ideal

Chirp Factor: 0

V: 5

Electrical Filtering: no

**Spectral Estimation: 3dB y 0.707945784384 linear*

ELECTRICAL WAVEFORM GENERATOR

Name: Bias_current

LASER

Name: MQW_laser_1550nm

Type: Custom MQW

Laser Center emission frequency: 1550 nm y 193.414489032THz

Status: 1

** Custom Mqw Laser*

File name: lasmqw.DAT

** Spectral Estimation: 0dBm y 1mW*

En la sección de enlace óptico se conecta la salida del modulador de amplitud a un divisor óptico mediante un enlace de fibra ideal de 100 Km de longitud, el cual en el otro extremo se conecta a un segundo divisor óptico.

En la entrada del primer divisor óptico se conecta un osciloscopio mediante un enlace óptico para visualizar la entrada de la fibra y, además, se conecta un medidor receptor de la potencia de entrada. De la misma manera en el segundo divisor óptico se conecta un osciloscopio óptico para visualizar la señal en el otro extremo de la fibra.

Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FIBRA: Ideal

OPTICAL SPLITTER

Attenuation output (dB): 0

Attenuation output (lin): 1

En la sección de recepción, la señal óptica se recibe a la entrada del receptor óptico sensible, y mediante un enlace eléctrico se conecta a un divisor, con el cual se lleva la señal eléctrica a un analizador de espectros eléctricos y a un analizador del valor de Q.

La configuración recomendada de los parámetros es la siguiente:

SENSITIVITY OPTICAL RECEIVER

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Sensitivity_rx

Bit Rate: 10

Optical Test Pulse Shape: NRZ Rectangular

Sensitivity under test condition: -23.9224802811

Sensitivity error probability: 1e-09

Overall Receiver Responsivity: 1

**RECEIVER FILTERS*

Optical filters: LORENTZIAN

193.414489032 THz y 1550 nm

20 GHz and 0.160277547743

BESSEL

Order: 4

Normalized -3dB frequency: 0,75

**ADVANCED*

Reference Frequency/Wavelength: 193.414489032THz y 1550nm

Quantum Efficiency: 0.75

Responsivity: 0.9376118584

Photodiode Type: PIN

Quantum Photodetection noise: YES

Received: Nominal = 10Gbits/sg

Las secciones descritas se muestran en el diagrama de la figura 4.22

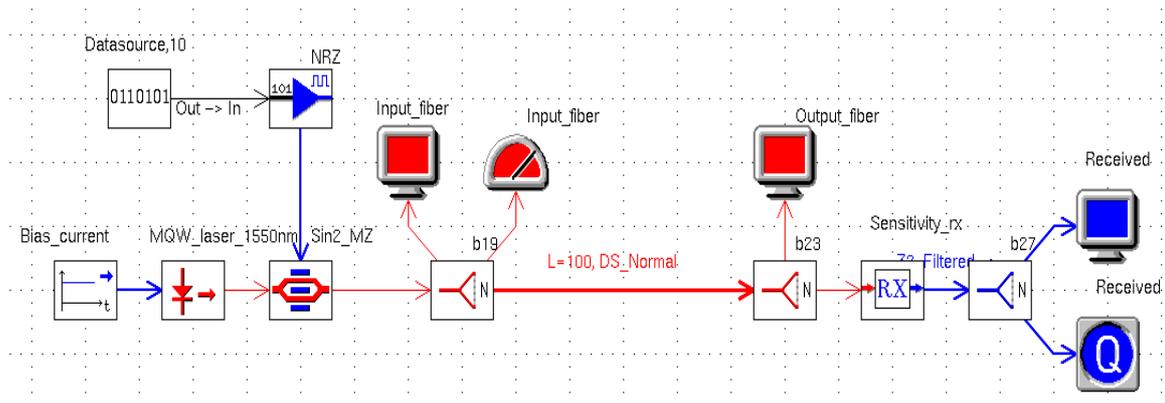


Figura 4.22 Diseño de un Sistema óptico usando fuente MQW

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Como resultado de esta práctica se puede obtener:

ENTRADA DE LA FIBRA (*Input*)

- Espectro Óptico (figura 4.23)

SALIDA DE LA FIBRA (*Output*)

- Espectro Óptico (figura 4.24)

RECEPTOR

- Diagrama de Ojo (figura 4.25); la BER obtenida se muestra en la figura 4.26 y el Factor Q en la figura 4.27

ENTRADA DE LA FIBRA (*Input*): Se observa el comportamiento del espectro óptico en valores de dB (mW/Thz) vs frecuencia (THz) y se registra la máxima frecuencia pico: 193,416 THz y la máxima potencia pico: 35,379652 Db

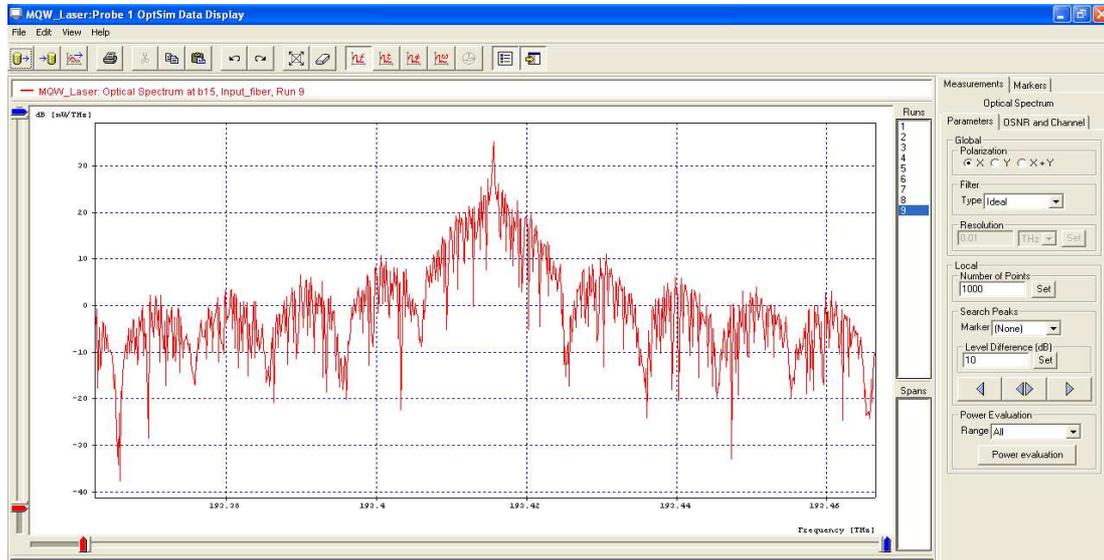


Figura 4.23 Espectro Óptico en la entrada de un Sistema usando fuente MQW
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

SALIDA DE LA FIBRA (*Output*)

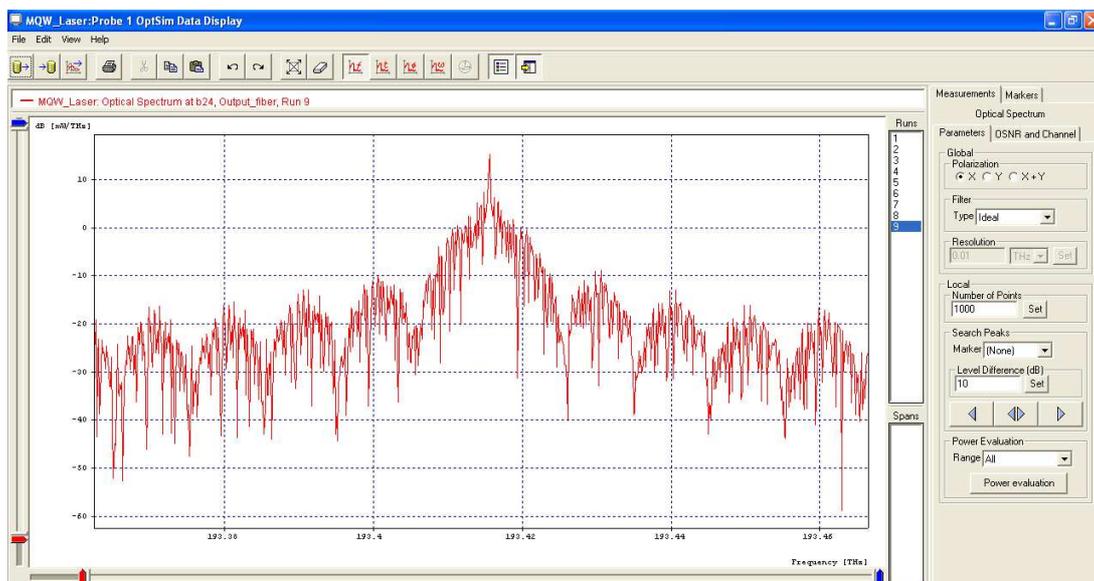


Figura 4.24 Espectro Óptico en la salida de un Sistema usando fuente MQW
Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Tras recorrer 100Km de fibra se observa el comportamiento de la señal, y el espectro eléctrico muestra valores de decibeles (mW/THz) vs frecuencia (THz), el cual ha variado respecto al espectro de la luz de la fibra óptica antes de recorrer esa distancia.

Máxima frecuencia pico: 193,416 THz.

Máxima potencia pico: 15,447499 dB

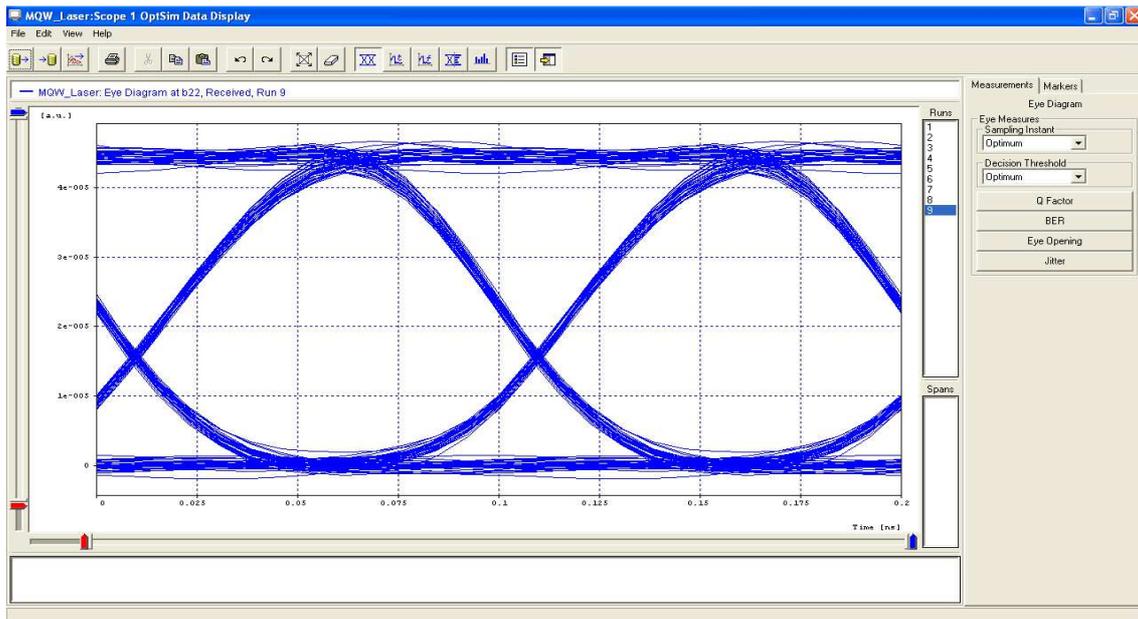


Figura 4.25 Diagrama de Ojo de un Sistema óptico usando fuente MQW

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama de ojo que se presenta permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: $4,38531 \times 10^{-005}$

Apertura horizontal $\approx 0,1$ ns



Figura 4.26 BER obtenida en un Sistema óptico usando fuente MQW

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor del BER es 1×10^{-40} el cual está dentro del rango de un muy buen valor



Figura 4.27 Factor Q obtenido en un Sistema óptico usando fuente MQW
 Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor de Q se registra 28,222803 dB.

4.3.6 PRÁCTICA # 6: CÓMO UTILIZAR EL COMPONENTE DE SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

Se implementa un canal de 10 Gbps con señal óptica NRZ que está conectado directamente a la entrada del receptor de sensibilidad. Se utiliza un filtro eléctrico emparejado en la salida de un fotodiodo PIN (eficiencia cuántica =0,75). En el receptor óptico la sensibilidad es igual a la potencia de entrada óptica promedio, y la prueba óptica en forma de pulso es igual a la forma de pulso del conductor. Hay que tener en cuenta que la estimación de factor $Q = 6$, que corresponde a la probabilidad de error de bit deseada de 10^{-9} .

4.3.6.1 Desarrollo de la práctica

En la sección de transmisión se coloca una fuente de datos de 10 Gbps y por medio de un enlace lógico se conecta a un excitador (*driver*) utilizando el código o formato de línea de tipo NRZ, cuya salida se conecta a un modulador de amplitud de tipo Mach Zehnder_LIN mediante un enlace eléctrico. A dicho modulador se lleva la señal óptica producida por un diodo láser de tipo CW Lorentzian a 1550 nm.

Los parámetros se configuran de la siguiente manera:

FUENTE DE DATOS:

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Datasourse

Bit Rate (nominal) [Gbps]: 10

Number of bits per symbol: 1
Sequence: Pseudo_random
Pseudo Random Sequence Degree: Automatic
Generating Polynomial: Deterministic
**ADVANCED*
Bit Edge: Deterministic
Bit Edge with respect to simulation start time [bit fraction]: 0
Starting Point: Deterministic
Starting Point in the sequence: 0
Synchronization signal Type: Pulse

EXCITADOR (DRIVER):

Name: NRZ
Signal Type and Shape: NRZ: Rectangular
Signal dynamics
Low level: -2.5 High level: 2.5

MODULADOR DE AMPLITUD:

Name: Linear_MZ
Type: Linear
Excess loss [dB]: 3

DIODO LASER:

Name: CW_Lorentzian Type: CW Lorentzian
Laser center emission frequency: [nm] 1550 [THz] 193.4144890
Status: 1

En la sección del enlace óptico se conecta el modulador de amplitud hacia un atenuador óptico y este a un receptor óptico sensible mediante enlaces ópticos.

ATENUADOR OPTICO:

Name: Attenuador

Attenuation [dB]: 17

Attenuation[lin]: 0.1421253754462

En la sección de recepción se conecta una salida del receptor óptico sensible a un osciloscopio eléctrico mediante un enlace eléctrico.

RECEPTOR OPTICO SENSIBLE:

**BASIC ATTRIBUTES*

Name: Sensitive_RX

Bit Rate [Gbps]: 10

Optical test pulse shape: NRZ rectangular

Sensitivity under test condition [dBm]: -20

Sensitivity reference error probability: 1e-09

Overall Receiver Responsivity [A/W] or [V/W]: 1

**RECEIVER FILTERS*

Optical Filtering: None

Test-post detection Electrical Filter: Matched

**ADVANCED*

Reference Frequency/Wavelength for Responsivity

[THz]: 193.414489032 [nm]: 1550

Quantum efficiency (not including Avalanche Gain): 0.75

Responsivity (not including Avalanche Gain): 0.9376118584

Photodiode Type: PIN

Quantum Photodetection noise: No

**Semi-Analytic BER*

Semi-Analytic BER evaluation: No

Measured time-span: Whole

OSCILOSCOPIO ELÉCTRICO (*ELECTRICAL SCOPE*):

Bit-Rate

Nominal [Gbps]: 10

Time Resolution: Custom

Numbr of visualized points per bit: 15

Measured time-span: Whole

Las tres secciones descritas se muestran en el diagrama de la figura 4.28:

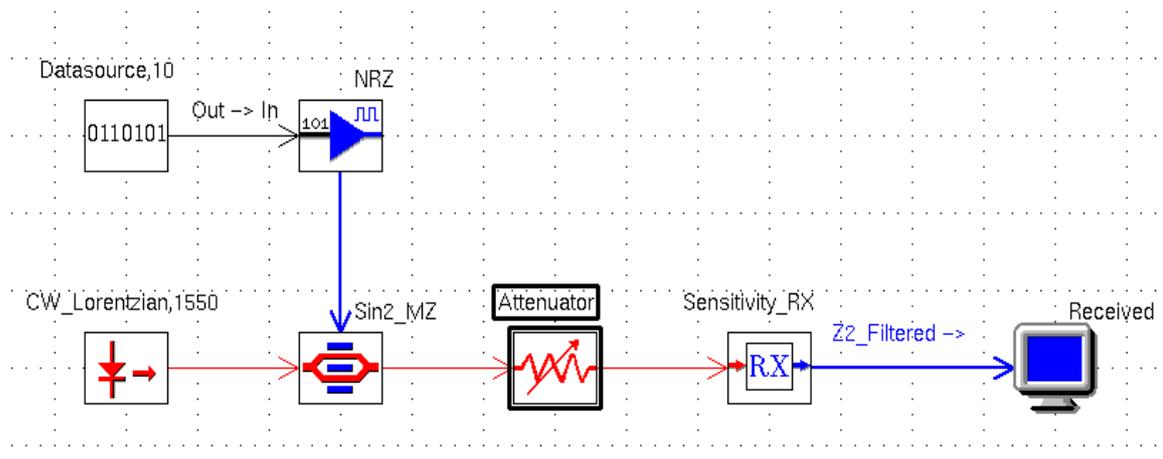


Figura 4.28 Diagrama del componente de sensibilidad del receptor

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

Como resultado de esta práctica se puede obtener el diagrama de ojo mostrado en la figura 4.29:

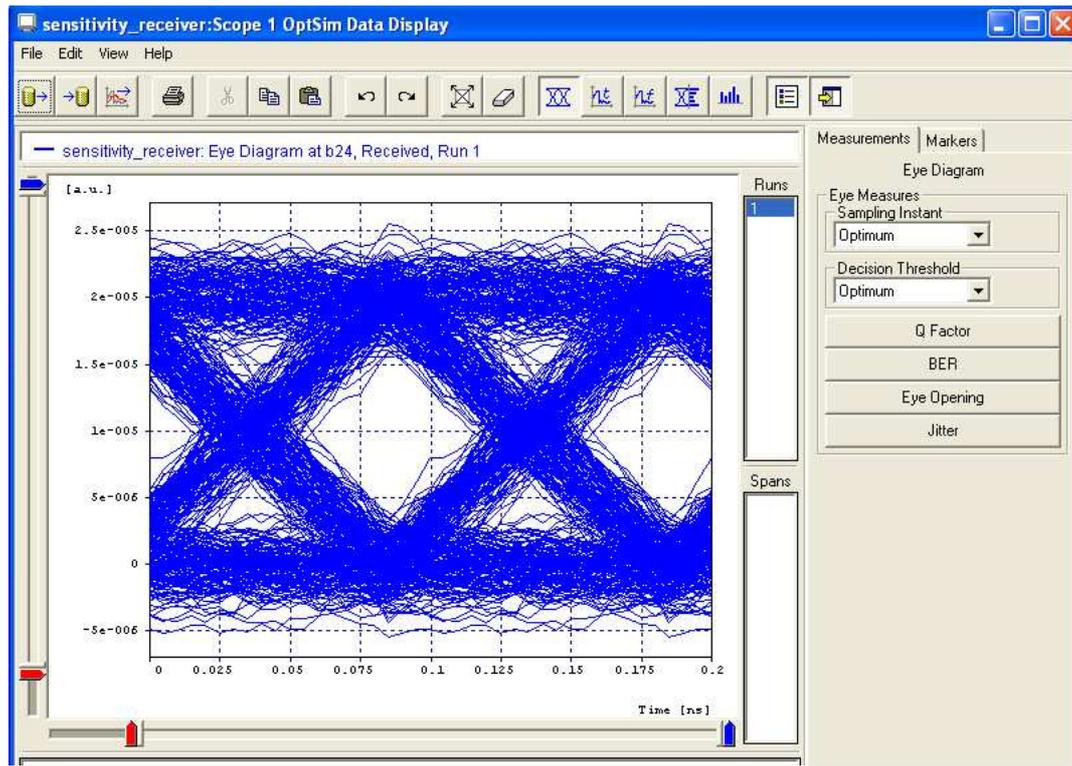


Figura 4.29 Diagrama de ojo obtenido por la sensibilidad del receptor

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El diagrama de ojo que se presenta permite observar valores de:

Apertura vertical promedio: $2,01197 \times 10^{-005}$

Apertura horizontal $\approx 0,075$ ns

La BER obtenida se puede observar en la figura 4.30.

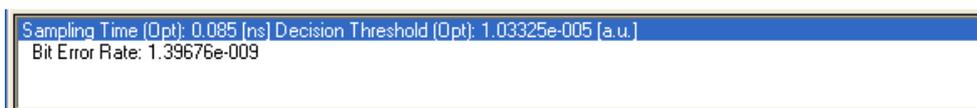


Figura 4.30 BER obtenida por la sensibilidad del receptor

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

El valor del BER es $1,3967 \times 10^{-9}$ el cual es un valor aceptable durante la transmisión.

El Factor Q obtenido se muestra en la figura 4.31 El valor se registra 15,699571 dB

Sampling Time (Opt): 0.085 [ns] Decision Threshold (Opt): 1.03325e-005 [a.u.] Q Value: 6.09507 [lin] Q Value: 15.699571 [dB] Sampling Time (Opt): 0.085 [ns] Decision Threshold (Opt): 1.03325e-005 [a.u.] Bit Error Rate: 1.39676e-009
--

Figura 4.31 Factor Q obtenido por la sensibilidad del receptor

Fuente: Resultado de la práctica en el Simulador OptSim

4.4 INSERCIÓN DE LAS PRACTICAS RECOMENDADAS EN EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Diseño de las unidades de estudio (UE)

UE I: La luz como medio de transmisión de información

Contenidos específicos: Luz solar y visibilidad. El espectro electromagnético. Propiedades de la luz. Reflexión. Transmisión-refracción. Absorción. La luz como portadora de información. Luz monocromática. Dispersión. Polarización. Refracción de la luz. Dispersión de la luz. Desarrollo de la práctica # 1 cuyo tema es Simulación de un canal simple de 10 Gbps y de la práctica # 2 con el tema de medida de la dispersión en la fibra óptica.

UE II: Las fibras ópticas

Contenidos específicos: Breve reseña histórica. Aplicaciones de la fibra óptica. Los sistemas de comunicación. Ventajas y desventajas de los sistemas de fibra óptica. Compatibilidad de los elementos ópticos con los sistemas de comunicación. Fabricación de las fibras Ópticas. Desarrollo de la práctica #3 con el tema de compensación de la dispersión de la fibra.

UE III: Medio de transmisión óptico

Contenidos específicos: Tipos de fibra óptica. Mecanismos de propagación de la luz. Acoplamiento con la fibra óptica. Apertura numérica. Pérdidas por desacoplamiento de

área. Parámetros de la fibra óptica. Las ventanas de transmisión. Comparación de los cables. Estructura del cable de fibra óptica. Fibra multimodo. Fibra multimodo de índice gradual. Fibra monomodo. Factores de atenuación. Pérdidas en la Fibra Óptica. Desarrollo de la práctica # 4 con el tema de BER (Tasa de bits erróneos).

UE IV: Los sistemas de comunicación por Fibra Óptica

Contenidos específicos: Componentes de los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión. Conectores y empalmes. Las Fuentes ópticas. Los diodos LED. Los diodos LD. Los transmisores ópticos. Los detectores ópticos. Fotodetectores PIN. Fotodetectores de avalancha. Los receptores ópticos. Los amplificadores ópticos. Otros elementos que pueden incluirse en los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión. Criterios de diseño de un sistema de comunicación óptico. Desarrollo de la práctica # 5 con el tema de fuente óptica MQW de un sistema de transmisión de fibra óptica y de la práctica # 6 con el tema de cómo utilizar el componente de sensibilidad del receptor.

4.5 INSERCIÓN DE LAS PRÁCTICAS RECOMENDADAS EN EL SYLLABUS DE LA ASIGNATURA

La programación detallada de la gestión del día es la siguiente:

UE	Objetivo	Sistema de Clases	No. De Horas	Evaluación	Observaciones
I	Estudiar la luz como portadora de información óptica	C1.- Luz solar y visibilidad. El espectro electromagnético. Propiedades de la luz.	2		
		C2.- Reflexión. Transmisión-refracción. Absorción. La luz como portadora de información.	2		

		C3.- Luz monocromática. Dispersión. Polarización. Refracción de la luz. Dispersión de la luz.	2		
		CP1.- Desarrollo de la práctica # 1 cuyo tema es Simulación de un canal simple de 10 Gbps y de la práctica # 2 con el tema de medida de la dispersión en la fibra óptica.	2	Desarrollo grupal	

UE	Objetivo	Sistema de Clases	No. De Horas	Evaluación	Observaciones
II	Conocer las fibras ópticas como medio de transmisión y las leyes que determinan la transmisión de la luz a través de ellas.	C4.- Breve reseña histórica. Aplicaciones de la fibra óptica. Los sistemas de comunicación.	2		
		C5.- Ventajas y desventajas de los sistemas de fibra óptica. Compatibilidad de los elementos ópticos con los sistemas de comunicación.	2		
		C6.- Fabricación de las fibras Ópticas.	2		

		CP2.- Desarrollo de la práctica #3 con el tema de compensación de la dispersión de la fibra.	2	Desarrollo grupal	
--	--	--	---	-------------------	--

UE	Objetivo	Sistema de Clases	No. De Horas	Evaluación	Observaciones
III	Presentar al estudiante el cable de fibra óptica como un medio de transmisión y explicar las propiedades de la luz que permiten su propagación a través de dicho medio.	C7.- Tipos de fibra óptica.	2		
		C8.- Mecanismos de propagación de la luz.	2		
		C9.- Acoplamiento con la fibra óptica. Apertura numérica.	2		
		C10.- Pérdidas por desacoplamiento de área.	2		
		C11.- Parámetros de la fibra óptica.	2		
		C12.- Las ventanas de transmisión.	2		
		C13.- Comparación de los cables.	2		
		C14.- Estructura del cable de fibra óptica. Fibra multimodo. Fibra multimodo de índice gradual. Fibra monomodo.	2		
		C15.- Factores de atenuación. Pérdidas en la Fibra Óptica	2		

		CP3.- Desarrollo de la práctica # 4 con el tema de BER (Tasa de bits erróneos).	2		
--	--	---	---	--	--

UE	Objetivo	Sistema de Clases	No. De Horas	Evaluación	Observaciones
IV	Presentar al estudiante los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	C16.- Componentes de los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	2		
		C17.- Conectores y empalmes.	2		
		C18.- Las Fuentes ópticas.	2		
		C19.- Los diodos LED. Los diodos LD.	2		
		C20.- Los transmisores ópticos.	2		
		C21.- Los detectores ópticos.	2		
		C22.- Fotodetectores PIN.	2		
		C23.- Fotodetectores de avalancha.	2		
		C24.- Los receptores ópticos	2		
		C25.- Los amplificadores ópticos	2		

		C26.- Otros elementos que pueden incluirse en los sistemas de comunicación que utilizan el cable de fibra óptica como medio de transmisión.	2		
		C27.- Criterios de diseño de un sistema de comunicación óptico.	2		
		CP4.- Desarrollo de la práctica # 5 con el tema de fuente óptica MQW de un sistema de transmisión de fibra óptica y de la práctica # 6 con el tema de cómo utilizar el componente de sensibilidad del receptor.	4	Desarrollo grupal	

CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas de la realización del proyecto de investigación realizado son las siguientes:

- Obtenida la información necesaria referente a diferentes programas de simulación en el área de los sistemas de transmisión por fibra óptica, se dio paso a la depuración y procesamiento respectivo, tras encontrar diversos simuladores en el campo de la fibra Óptica, tales como OptiSystem, OptSim, LightSim.
- Procesada la información se determinó que entre los diferentes programas de simulación en el área de los sistemas de transmisión por fibra óptica, el simulador OptSim, es el software ideal, para ser aplicado por alumnos que cursen la materia de Sistemas de Fibra Óptica dictada en el Octavo ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.
- Se logró alcanzar un nivel básico y necesario sobre el manejo del simulador Optsim gracias a la ayuda del manual OsUser en la ejecución de determinados modelos de sistemas de transmisión óptica y así afianzar los conceptos teóricos dictados a los estudiantes durante las horas de clases en dicha materia.
- Las prácticas fueron escogidas de acuerdo al pensum académico de la materia de Sistemas de Fibra Óptica, con el fin de complementar los conocimientos y despejar ciertas dudas en el estudiante generadas durante las clases teóricas, en determinados temas tales como, la descripción de un canal simple de 10 Gbps, la dispersión en la fibra óptica, el BER (Tasa de bits erróneos), fuente y receptor óptico.
- La inserción de las prácticas en el programa de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica se realizó de acuerdo al contenido teórico y cantidad de horas de cada unidad, considerando que al final de las mismas exista por lo menos de una a dos prácticas.
- Al culminar el trabajo final de tesis se observa el cumplimiento respectivo de cada uno de los objetivos, alcanzando la inserción del software Optsim, en el

programa de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica del Octavo Ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, como una solución a la necesidad de un componente práctico en el desarrollo de dicha materia.

RECOMENDACIONES

- Sería conveniente que el programa de la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica, en un lapso determinado de tiempo pueda estar constituido de un 50% teórico y 50% práctico para el desarrollo de las clases, considerando la necesidad de que el alumno pueda observar e interactuar con los sistemas ópticos, gracias a la simulación en el software Optsim.
- Es necesario que las diferentes asignaturas de la malla curricular de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, tales como circuitos eléctricos, electrónica, telemática, conmutación, sistemas satelitales, entre otras, puedan contar con un componente práctico en las cuales el alumno pueda afianzar sus conocimientos teóricos, a través de la simulación o ejecución de modelos esquemáticos en un software determinado.

GLOSARIO

- **AM:** Amplitud Modulada.
- **APD.-** *Avalanche Photodiode*, Fotodiodo de Avalancha.
- **BER.-** *Bit Error Rate*, Tasa de Error de bit.
- **CATV.-** *Community Antenna Television*, Televisión por Cable.
- **CPU.-** *Central Processing Unit*, Unidad Central de procesamiento.
- **CW.-** *Continuous Wave*, Onda Continua.
- **CWDM.-** *Coarse Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación de División de Longitud de Onda Gruesa.
- **DWDM.-** *Dense wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas.
- **EDFA.-** *Erbium Doped Fiber Amplifier*, Amplificador de Fibra Dopada
- **ELED.-** *Edge Light Emitting Diode*, Diodo con emisión en el borde.
- **FSO.-** *Free Space Optics Systems*, Ópticos por Espacio Libre
- **FTTx.-** *Fiber to the x*, Fibra hasta x, en donde “x” puede denotar distintos destinos.
- **f_r** .- Frecuencia Resonante.
- **FWHM.-** *Full Width at half maximum*, ancho total de la mitad máxima.
- **IIS:** *Inter Symbol Interference*, Interferencia Intersímbolos.
- **LAN.-** *Local Area Network*, Red de Área Local.
- **LD :** *Laser Diode*, Diodo Láser
- **LED.-** *Light Emitting Diode*: Diodo Emisor de luz.
- **MQW.-** *Multi-Quantum Well*, Múltiples Pozos Cuánticos.
- **NRZ .-** *non-return-to-zero*, no retorno a cero
- **OCDMA.-** *Code Division Multiple Access optical communication system*, Sistemas ópticos con multiplexación por división en código.
- **OPA.-** *Optical Parametric Amplifier*, Amplificador Óptico Paramétrico.
- **OSA.-** *Analyzer Optical Spectrum*, analizador de espectro óptico .
- **OSNR.-** *Optical Signal to Noise Ratio*, Razón Señal Óptica a Ruido.
- **OTDM.-** *Optical Time Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
- **PCM.-** *Pulse-Code Modulation*, Modulación de Impulsos Codificados.

- **PIN:** Diodo con estructura: Semiconductor P-Semiconductor Intrínseco-Semiconductor N
- **PMD.-** *Polarization Mode Dispersion*, dispersión por modo de polarización.
- **p-n:** Positivo – Negativo.
- **PON.-** *Passive Optical Networks*, Redes ópticas pasiva.
- **RAM.-** *Random Access Memory*, memoria de acceso aleatorio.
- **RZ.-** *return-to-zero*: retorno a cero
- **SDH.-** *Synchronous Digital Hierarchy*, Jerarquía Digital Síncrona
- **SM.-** (*Single Mode*, monomodo).
- **SOA.-** *Service-Oriented Architecture*, Arquitectura Orientada a Servicios.
- **SPT.-** *Spectral propagation technique*, Técnica de propagación Espectral
- **TDM.-** *Time-Division multiplexing*, *Multiplexación* por División de Tiempo.
- **TIC.-** Tecnologías de la información y comunicaciones
- **UCSG.-** Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
- **UE.-** Unidades de Estudio.
- **VBS.-** *Simulation technique variable bandwidth*, Técnica de Simulación de ancho de banda variable.
- **WAN.-** *Wide Area Network*, Red de Área Extensa.
- **WDM.-** *Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Longitud de Onda.

BIBLIOGRAFIA

Association, A. P. (2002). *Manual de estilo de publicaciones* (Segunda ed.). Mexico: El Manual Moderno, S.A. de C.V.

Corporation, p. o. (2002). *OptSim 3.5 User Manual*. Italy: ARTIS Software, Artifex, OptSim, ARTIS NetworkDesigner are trademarks of ARTIS Software Corporation and its subsidiaries.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*, (3ª ed). Atlampa, Cuauhtémoc, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana. ISBN 970-10-3632-8.

Horak, R. (1996). *Communications Systems and Networks*. Foster City, CA. USA: Mark A. Miller, IDG Books Worldwide, Inc. **ISBN 1558514856**.

Horak, R. (2007). *Telecommunications and data communications handbook*. New Jersey: Wiley and Sons. ISBN 978-0-470-04141-3

Huidrobo, J. (1998). *Manual de Telefonía*. Madrid: Paraninfo.

Huidrobo, J. (1993). *Sistemas de comunicaciones*. Madrid: Paraninfo.

Muñoz, C. (1998). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Salkind, N. (1999). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Mexico: Prentice Hall.

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación

Vargas, I. A. (2009). *Sistemas de Fibra Optica*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.

Páginas consultadas en Internet:

<http://www.ahciet.net/portales/1000/10002/10007/10657/docs/008.pdf>

<http://www.univalle.edu/publicaciones/carreras/civil/articulo05.htm>

http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtm8T_4xf2EVuQEcuZgVs6EVs6E666666--

<http://store.phonetx.com/36821200.html>

Redes de Servicios Públicos.

<http://www.losconstructores.com/BancoMedios/Archivos/r132-4-2.htm>

CONSTRUDATA http://es.wikipedia.org/wiki/Planta_externa

hipertexto, p. d. (s.f.). *Fibra óptica*. Recuperado el 15 de marzo de 2011, de Fibra óptica.: <http://www.robertexto.com/archivo7/fibraopt.htm>

<http://yellowfourier.com/eyedia.html>; Recuperado el sábado 15 de enero de 2011

ilustrados.com. (s.f.). *Fibra Óptica - ilustrados.com*. Recuperado el 15 de marzo de 2011, de Fibra Óptica - ilustrados.com:

<http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyuZlyEAFDoGCgcJJ.php>

María, U. T. (2003, agosto 21). *Informe de Teoría de Comunicaciones Digitales*. Retrieved enero 21, 2011, from Informe de Teoría de Comunicaciones Digitales: <http://www.euskalnet.net/mpetirena/DiagOjos.pdf>

Navarra-3/10-, M. U. (15 de julio de 2010). *Redes de Fibra Óptica*. Recuperado el sábado 15 de enero de 2011, de Redes de Fibra Óptica: http://www1.unavarra.es/digitalAssets/131/131626_Red-de-Fibra---ptica.pdf

Noemi. (2010, noviembre 25). *Estudio de la Atenuación con la Fibra Óptica con OptSim*. Retrieved enero 21, 2011, from Estudio de la Atenuación con la Fibra Óptica con OptSim.: www.tel.uva.es/descargar.htm;jsessionid...?id=13177

REPOSITORIO_DIGITAL. (06 de julio de 2006). *Desarrollo de un Programa Aplicativo de Simulación*. Recuperado el sábado 15 de enero de 2011, de Desarrollo de un Programa Aplicativo de Simulación:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/168/5/Capitulo%204.pdf>

Rsoft. (26 de junio de 2008). *Diseño de Sistemas y Redes del Optsim*. Recuperado el sábado 15 de enero de 2011, de Diseño de Sistemas y Redes del Optsim: <http://www.allopticdesign.com/productos/simulacion/optsim/OptSim.pdf>

Santraco. (2002, enero 10). *Modulo Introductorio principios generales del sistema de fibra optica*. Retrieved enero 21, 2011, from Modulo Introductorio principios generales del sistema de fibra óptica:

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlanteleXterior/IntroductorioResumen%20FO.pdf>

SIMULACIÓN DE UN ENLACE TÍPICO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS. (17 de enero de 2007). Recuperado el 21 de enero de 2011, de SIMULACIÓN DE UN ENLACE TÍPICO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS:

<http://www.tel.uva.es/personales/st2ie/pdfs/Practica06.pdf>

Simulación de un Sistema Óptico de 40 Canales Obedeciendo al Estándar ITU-T G.692 con Separación Desigual de Longitudes de Onda. (2005, enero 21). Retrieved enero 21, 2011, from *Simulación de un Sistema Óptico de 40 Canales Obedeciendo al Estándar ITU-T G.692 con Separación Desigual de Longitudes de Onda*: [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/ris-ci/pdfs/P861162.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/ris-ci/pdfs/P861162.pdf)