



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL DE TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Aplicación del Software PON Design para el diseño de redes ópticas pasivas WDM en
la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en
Telecomunicaciones

Previa la obtención del Título

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL DE TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR:

JEFFERSON EDUARDO HERRERA YAGUAL

Guayaquil, Agosto de 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el señor Jefferson Eduardo Herrera Yagual, como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES.

Guayaquil, Agosto 2012

DIRECTORA DE TESIS

Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc.

REVISADO POR

Ing. Manuel de Jesús Romero Paz, MSc.

REVISADO POR

Ing. Luis Silvio Córdova Rivadeneira, MSc.

REVISADO POR

Ing. Luis Vicente Vallejo Samaniego. Córdova

RESPONSABLES ACADÉMICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

HERRERA YAGUAL JEFFERSON EDUARDO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Aplicación del Software PON Design para el diseño de redes ópticas pasivas WDM en la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Agosto 2012

EL AUTOR

HERRERA YAGUAL JEFFERSON EDUARDO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, HERRERA YAGUAL JEFFERSON EDUARDO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: “Aplicación del Software PON Design para el diseño de redes ópticas pasivas WDM en la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Agosto 2012

EL AUTOR

HERRERA YAGUAL JEFFERSON EDUARDO

Índice General

AGRADECIMIENTO	11
DEDICATORIA	12
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.2 ANTECEDENTES	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.5 HIPÓTESIS	19
1.6 OBJETIVOS.....	19
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.7 METODOLOGIA.....	20
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS	20
2.1. COMPONENTES DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA.	20
2.1.1. FUENTES DE LUZ.....	21
2.1.1.1. DIODOS EMISORES DE LUZ – LED.....	21
2.1.1.2. DIODOS LÁSER – LD.....	23
2.1.2. FOTODETECTORES	24
2.2. LA FIBRA ÓPTICA.....	24
2.2.1. FIBRA MULTIMODO.....	25
2.2.2. FIBRA MONOMODO.....	28
2.2.3. PARÁMETROS EN LA TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA	29
2.2.3.1. Atenuación.....	29
2.2.3.2. Ancho de banda [1].....	32
2.2.3.3. Dispersión	33
2.3. REDES PON	35
2.4. APON (ATM Passive Optical Network)	37
2.5. BPON (Broadband PON):	38
2.6. GPON (Gigabit PON):	38

2.7.	OAM&P extremo a extremo.....	39
2.8.	EPON (Ethernet PON):	39
2.9.	Ventajas de las redes PON	41
2.10.	Costes de operación, mantenimiento y crecimiento	42
CAPÍTULO 3: PROGRAMA DE SIMULACIÓN PON DESING SOFTWARE.....		45
3.1.	INICIANDO EL SOFTWARE.....	45
3.2.	EMPEZAR UN NUEVO PROYECTO.....	46
3.2.1.	MÓDULO DE DISEÑO DE UNA RED EN PDS.....	47
3.3.	PARÁMETROS DE SIMULACIÓN EN PDS.....	52
3.3.1.	PARÁMETROS DE ESTRELLAS ÓPTICAS.....	52
3.3.2.	PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE UNA PON.....	53
3.3.3.	PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS.....	56
3.4.	PROBLEMAS EN EL DISEÑO DE UNA PON EN PDS.....	60
3.5.	ALGORITMO ENTERO LINEAL Y UBICACIÓN DE AMPLIFICADORES EN UNA RED VIABLE.....	62
3.6.	REPORTE DE RESULTADOS EN HOJA DE CÁLCULO	63
3.6.1.	PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS.....	64
3.6.2.	RESULTADOS DE LOS ENLACES ENTRE ESTRELLAS.....	65
3.6.3.	RESULTADOS DE LOS ENLACES DE ACCESO.....	65
3.6.4.	POTENCIAS DE SALIDA DE LAS ESTRELLAS ÓPTICAS.....	67
3.7.	MÓDULO DE ANÁLISIS ESPECTRAL	67
3.8.	OTRAS UTILIDADES DE PDS.....	74
CAPÍTULO 4: DESARROLLO EXPERIMENTAL CON PON DESING SOFTWARE ..		75
4.1.	EVALUACIÓN PRÁCTICA DE UNA RED PASIVA ÓPTICA (PON) PARA COMUNICACIÓN ENTRE 4 CIUDADES.....	75
4.2.	Diseño en PDS para una PON.....	77
4.3.	Ejecución en PDS para la PON propuesta.....	78
4.4.	Módulo de análisis espectral para la PON propuesta.....	81
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86
5.1.	CONCLUSIONES.....	86
5.2.	RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		88
Anexo A.....		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama de bloques básico de un sistema de comunicaciones óptica. [1].....	21
Figura 2. 2: Semiconductor dopado con impurezas. [2]	22
Figura 2. 3: Doblamiento de las bandas de energía. [2].....	22
Figura 2. 4: LED alimentado en directa. [2]	22
Figura 2. 5: Curva característica de un diodo LED.....	23
Figura 2. 6: Mejoras del diodo laser versus diodo emisor de luz.....	24
Figura 2. 7: Rayos meridionales [1].....	26
Figura 2. 8: Rayos oblicuos [1].....	26
Figura 2. 9: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica MM de índice escalonado [1].....	27
Figura 2. 10: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica MM de índice gradual [1]	28
Figura 2. 11: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica SM [1]	29
Figura 2. 12: Curva de atenuación de una fibra monomodo (SM).....	31
Figura 2. 13: Ancho de banda de una fibra MM, donde el pulso de luz se ensancha. [1].....	32
Figura 2. 14: Ancho de banda de una fibra SM, donde el pulso de luz se ensancha. [1].....	33
Figura 2. 15: Dispersión del material o cromática de una fibra SM, con ensanchamiento del pulso emitido. [1]	34
Figura 2. 16: Dispersión modal de una fibra MM, con ensanchamiento del pulso emitido. [1].....	34
Figura 2. 17: Modelo de red CATV similar a redes ópticas pasivas.	35
Figura 2. 18: Arquitectura punto a punto vs punto multipunto con switch en la manzana vs PON.	36
Figura 2. 19: Aumento de cobertura de acuerdo a la demanda de servicios ...	42

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Pantalla inicial PDS	46
---	----

Figura 3. 2: Pantalla introductoria.....	46
Figura 3. 3: Pantalla de Módulo para diseñar una PON	47
Figura 3. 4: Ejemplo de red PON.	48
Figura 3. 5: Dispositivo PON tipo estrella óptica.	49
Figura 3. 6: Desplazando una estrella óptica	49
Figura 3. 7: Componentes de una red óptica pasiva.	50
Figura 3. 8: Interconectando las estrella ópticas.	50
Figura 3. 9: Enlaces entre estrellas.	51
Figura 3. 10: Enlaces de acceso.	51
Figura 3. 11: Ventana de estaciones ópticas.	52
Figura 3. 12: Parámetros de estrellas ópticas.	53
Figura 3. 13: Opciones para ejecutar la solución de red.	53
Figura 3. 14: Ventana de estado de solución de red.	54
Figura 3. 15: Ventana de consistencia de diseño.....	54
Figura 3. 16: Avisos de advertencia de PDS.....	55
Figura 3. 17: Ventana de prueba de viabilidad.....	56
Figura 3. 18: Opciones para estaciones ópticas.....	56
Figura 3. 19: Parámetros de los amplificadores ópticos.....	57
Figura 3. 20: Parámetros para la fibra óptica.	57
Figura 3. 21: Ventana de acoplador óptica.....	58
Figura 3. 22: Parámetros de red.....	58
Figura 3. 23: Ventana de estandarización.....	59
Figura 3. 24: Restablecimiento de valores.	59
Figura 3. 25: Problema de una red inviable.....	60
Figura 3. 26: Notificación del problema detectado en una PON.....	61
Figura 3. 27: Opción para posible solución de una PON.....	62
Figura 3. 28: Ventana de ubicación de amplificadores.....	63
Figura 3. 29: Reporte de resultados de una PON	64
Figura 3. 30: Ventana inicial del análisis espectral.....	67
Figura 3. 31: Módulo de análisis espectral.	68
Figura 3. 32: Selección del tipo de fibra óptica.....	69
Figura 3. 33: Especificaciones de la fibra óptica.	69
Figura 3. 34: Especificaciones de equipamiento óptico.....	70
Figura 3. 35: Ventana principal de módulo de análisis espectral.....	70

Figura 3. 36: Selección de dispositivo origen.	71
Figura 3. 37: Selección de dispositivo de destino.....	71
Figura 3. 38: Valores de distancia para el enlace S1-S2.....	72
Figura 3. 39: Selección de segmento a graficar.	72
Figura 3. 40: Espectro de amplitud.....	73
Figura 3. 41: Efectos de la modificación de valor absoluto de frecuencia.	73
Figura 3. 42: Soluciones numéricas para el ancho de banda de la fibra.	74
Figura 3. 43: Otras utilidades de PDS.	74

Capítulo 4:

Figura 4. 1: Versión profesional de PON DESIGN SOFTWARE	75
Figura 4. 2: Vista de los enlaces por F.O. a través del google Hearth.	76
Figura 4. 3: Diagrama de bloques del enlace mediante F.O.	77
Figura 4. 4: Diseño de la red en la herramienta de simulación PDS.	78
Figura 4. 5: Ejecución de la solución de red propuesta.....	78
Figura 4. 6: Ejecución de la solución de red propuesta.....	79
Figura 4. 7: Ejecución de la solución de red propuesta.....	80
Figura 4. 8: Ejecución de la solución de red propuesta.....	80
Figura 4. 9: Tipo de medio de transmisión para el análisis espectral.	81
Figura 4. 10: Especificaciones de la fibra óptica.	81
Figura 4. 11: Especificaciones del equipo óptico.....	82
Figura 4. 12: Módulo de simulación espectral para una PON.	82
Figura 4. 13: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S1.....	83
Figura 4. 14: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S2.....	84
Figura 4. 15: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S4.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Porcentaje de potencia de salida en función de la pérdida en (dB). [4]	30
---	----

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Componentes del modulo de diseño de red.	47
Tabla 3. 2: Datos técnicos de la red de ejemplo.....	48
Tabla 3. 3: Reporte de parámetros de dispositivos	64
Tabla 3. 4: Reporte de enlaces entre estrellas ópticas.....	65
Tabla 3. 5: Reporte de enlaces estación-estrella	66
Tabla 3. 6: Reporte de potencias de salidas de onda en las estrellas ópticas.	67

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la fortaleza y sabiduría espiritual para realizar este trabajo. Agradezco a mi madre que con su ayuda espiritual, moral, el amor que me dio y sus sabios consejos han sabido guiarme por el camino del bien y así llegar a convertirme en profesional útil a la sociedad y por ende a la patria, a mi tutor y amigo que apporto grandemente en este proyecto compartiendo conmigo sus experiencias y conocimientos intelectuales.

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

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre cuyo amor y ejemplo de abnegación sublime han sido pilar fundamental en la formación de mi vida universitaria, a mis hermanos/a, familiares, mi novia y amigos por ese apoyo incondicional que me dieron en su debido momento los cuales me ayudaron con sus experiencias y consejos a cumplir mi meta y convertirme en una personas de éxito.

A mi tutora por ayudarme 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 este trabajo voy a mostrar los aspectos primordiales vinculados con la evaluación y análisis para realizar un diagnóstico a la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), que permite determinar la inserción en su programa de enseñanza-aprendizaje de prácticas para los estudiantes que tomen la materia complementando 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 han sido adquiridos, en este trabajo se presenta 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 PON, cuyos fundamentos básicos se presentan en el capítulo 3. En el capítulo 4 se evalúa la plataforma de simulación y ejecución del mismo. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones determinadas durante la realización de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material (García, 2006). Un haz de luz que se comporta como una onda de luz y a la vez es otra forma de energía electromagnética, que utilizaba la luz como medio de transmisión, mediante una portadora, por lo que este tipo de comunicación tiene más de un siglo de antigüedad. Hacia 1880, Alexander G. Bell construyó el fotófono que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz. Sin embargo, resultaba inviable por la falta de fuentes de luz adecuadas. (Ramos, 2010)

Con el descubrimiento y construcción del láser durante los años 60, ésta vuelve a tomar idea como posibilidad de emplear un haz de luz como soporte de comunicaciones fiables, debido a su elevada portadora cuya frecuencia $f=10^{14}$ Hz. Los estudios básicos se iniciaron sobre modulación y detección óptica, cuyas primeras pruebas de transmisión pusieron de manifiesto interferencias que no brindaban fiabilidad, frecuentemente era ocasionado por precipitaciones, contaminación o turbulencias atmosféricas.

El empleo de fibras de vidrio como medio guía no tardó en resultar atractivo: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y coste. En concreto, las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos, sin embargo, en un principio presentaban elevadas atenuaciones. En 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura. (Martínez, 2009)

El empleo del láser era poco común, ya que no existían canales apropiados para transmitir ondas electromagnéticas provocadas por lluvia de fotones en el láser. Desde entonces los científicos y técnicos en óptica centraron sus esfuerzos en la producción de un ducto, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 marca un gran hito para futuras comunicaciones por fibra óptica, basadas en una publicación por Kao y Hockman, en el cual señalaba que la pérdida o atenuación hasta ese entonces en las fibras ópticas de vidrio, no se debía a problemas intrínsecos sino a las impurezas provocadas al momento de su fabricación.

Es importante que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones deban 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 está basado en distintas fuentes como libros, internet, publicaciones tecnológicas, entre otros. 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 Pon Design de la compañía Aralyteck Communications, realice prácticas de simulación de redes ópticas y afiance los conocimientos impartidos en el aula de clase.

Es importante que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones deban prepararse de manera adecuada para que puedan consolidar la teoría y despejar dudas por medio de una herramienta fácil y completa simultáneamente. Entre algunos sistemas que podrían utilizarse se ha determinado que el Software Pon Design es la herramienta ideal para el diseño de redes ópticas asistidas por un computador.

Este informe, servirá tanto a maestros como a estudiantes, a encaminar y cumplir con los objetivos en cuanto a la excelencia académica.

1.2 ANTECEDENTES

Las Redes Ópticas Pasivas con capacidad Gigabit (GPON, *Gigabit Passive Optical Network*) es una mejora de varias recomendaciones de redes basadas en tecnología PON (*Passive Optical Network*). Una PON emplea acceso mediante una red de fibra óptica con elementos pasivos, que no requieren de alimentación externa para su funcionamiento, al distribuir la información a través de la red. Los costos de los equipos van dirigidos directamente al usuario final, se supone un elevado gasto del tendido de fibra óptica entre la central y el usuario, considerando el hecho de que el mantenimiento compensaría tal inversión.

A finales de la década del 90 surgen los equipos de redes y con la disminución del precio de la fibra óptica, para ofrecer mayores y mejores prestaciones a los usuarios residenciales, para lo cual se consideraron dos tipos de soluciones: redes PON y Redes Ópticas Activas (AON, *Active Optical Network*). La primera ya citada anteriormente por su bajo consumo de potencia y la segunda con equipos activos eléctricamente para la distribución de la señal y por ende mucho más costosa.

La creación de Redes de Acceso a Servicio Completo (FSAN, *Full Service Access Network*) fundada en 1995, siendo el primer organismo encargado de emitir normas para interoperabilidad y funcionamiento para suministradores y operadores de tecnología PON, cuyos elementos esenciales de una PON eran:

- Red Óptica de Acceso (OAN, *Optical Access Network*), considerada como un conjunto de enlaces que coinciden en iguales interfaces del lado de la red admitidos por los sistemas de transmisión de tipo óptico.
- Red de Distribución Óptica (ODN, *Optical Distribution Network*), brinda la comunicación entre un OLT y el usuario y viceversa.
- Terminal de Línea Óptica (OLT, *Optical Line Termination*), una OLT brinda la interfaz de red entre la OAN y que permite la conexión a una o varias ODN.
- Splitter (Divisor Óptico Pasivo), que en si es el dispositivo que retransmite la señal óptica sin necesidad de alimentación externa multiplexado y/o desmultiplexando la señal.

- Unidad de Red Óptica (ONU, Optical Network Unit), que se define como el elemento que actúa como vínculo entre el usuario y la OAN, conectada a la ODN.

Los elementos o dispositivos ya mencionados con anterioridad, conforman la arquitectura para dar soporte a redes ATM en vez de las PON. Estos elementos operan de la siguiente manera: una OLT es una interfaz entre la red PON y backbone de la red, mientras que la ONT genera una interfaz de servicio al usuario final.

La GPON tiene algunas ventajas sobre otras redes ópticas que operan con la fibra óptica entre las más importantes se citan:

- Su rango de alcance es de cerca de 200Km (aunque bajo el estándar se puede llegar a 60km) entre el proveedor y el cliente final.
- Se reduce la cantidad de tendido de fibra óptica, tanto entre las distintas distribuidoras como entre los circuitos de llegada al cliente.
- Se manejan elevados niveles de ancho de banda para sus servicios.
- No exige la necesidad de implementar elementos activos en la red.

En lo que respecta a velocidad de transmisión, se puede decir que estas variaciones han definido los tipos de redes PON existentes, así se habla de velocidades desde 155Mbps, 622Mbps, 1.25Gbps o 2.5Gbps.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La realidad de muchas Universidades de nuestro país, se basan en el desenvolvimiento de sus materias solo en un estricto campo teórico, dejando a un lado que las materias sean solo de manera didácticas. Permaneciendo con una metodología en la cual se abarcan solo conceptos, imágenes y técnicas, 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 Pon Design, el cual permite diseñar redes ópticas pasivas por medio de enlaces de fibra óptica, para determinar el cálculo de un número de amplificadores ópticos requeridos y de su ubicación adecuada en los diferentes enlaces de la red, tomando como base los propuestos de potencia necesarios para el ejercicio de detección de las señales.

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 de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones no cuenta con enfoques didácticos y prácticos sobre esta tecnología para complementar la parte teórica.

1.5 HIPÓTESIS

Debido a la necesidad de brindar al usuario mejores costos, competitividad y diversidad de marcas, se han propuesto un conjunto de recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos desarrollados para el soporte del estándar Software Pon Design y así atender a la unificación de sus prestaciones, la compatibilidad de equipos existentes y con funcionalidades ya establecidas en el software que se refieren al manejo de la fibra óptica.

1.6 OBJETIVOS

A continuación se detallan tanto el objetivo general de la tesis así como los objetivos específicos:

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y estudiar las aplicaciones del Software Pon Design para uso en la materia de Fibra Óptica en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad Técnica para el Desarrollo.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Actualizar el estudio de la Fibra Óptica con un Software que permita realizar diferentes diseños y poder obtener los resultados del mismo.
2. Implementar la herramienta de simulación para el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.
3. Evaluar el software mediante el diseño de una red óptica pasiva (PON).

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.

1.7 METODOLOGIA

Para alcanzar los objetivos propuestos se seleccionaron los siguientes métodos de investigación:

1. Método de análisis y síntesis.
2. Método de la inducción y la deducción.
3. Métodos de medición y de observación

CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS

Desde 1995, las compañías operadoras de telecomunicaciones han estado trabajando durante mucho tiempo en una red de servicios integrada de acceso al abonado, la cual le permitiera al usuario un acceso en banda ancha a través de fibra óptica, y esta contuviera los costes de un despliegue tradicional punto a punto (como hace ADSL con el bucle de abonado en cobre, o bien en fibra óptica).

2.1. COMPONENTES DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA.

Los componentes básicos de un sistema de comunicación mediante enlace óptico se muestra en la figura 2.1, donde el sistema genera una señal electrónica de información, que después debe modularse en amplitud a un dispositivo emisor de luz, generando una portadora luminosa con longitud de onda λ . La señal luminosa se transmite por cable de fibra óptica hacia el receptor, en donde, mediante un fotodiodo o fotocelda es transformada en una señal eléctrica, la cual es procesada por un sistema electrónico recuperando la señal de información.

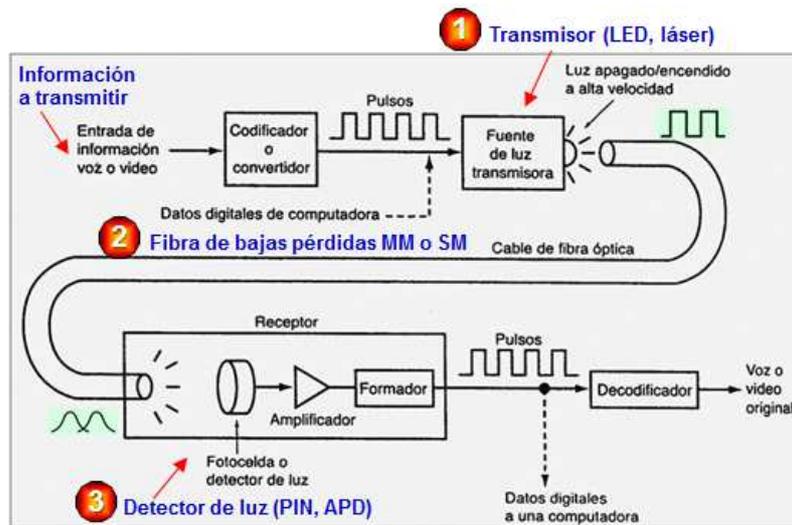


Figura 2. 1: Diagrama de bloques básico de un sistema de comunicaciones óptica. [1]

Entre las características más importantes tenemos los dispositivos emisores de luz y de los dispositivos fotodetectores, los cuales son los elementos electroópticos y optoelectrónicas en un el enlace de telecomunicación óptico punto a punto.

2.1.1. FUENTES DE LUZ.

En la actualidad los dispositivos más utilizados para realizar esta función son los diodos láser (DL) y los diodos emisores de luz (LED), la elección del dispositivo a usar depende directamente de las características del sistema a implementar.

2.1.1.1. DIODOS EMISORES DE LUZ – LED.

Un diodo emisor de luz, es un dispositivo electrónico para comunicaciones ópticas, el cual se encarga de enviar la señal de información óptica a través de un medio de transmisión, que para el presente proyecto es el cable de fibra óptica, hacia el receptor. Un importante componente del procesado óptico de la información es la generación de señales ópticas.

Ahora describiremos el funcionamiento del LED que electrónicamente es una unión p-n directamente polarizada (ver figura 2.2) en la que se inyectan electrones y huecos en una región en donde se recombinan. Cuando se une un semiconductor tipo n con un semiconductor tipo p, se tiene que tanto los electrones libres en la región n, como los huecos libres en la región p no tienen

la suficiente energía para sobrepasar la barrera de unión y desplazarse hacia la región opuesta, como se muestra en la figura 2.3. En este punto, la energía potencial de los huecos, siendo opuesta a la de los electrones provoca un incremento en la barrera de unión, como se ilustra en la figura 2.4.

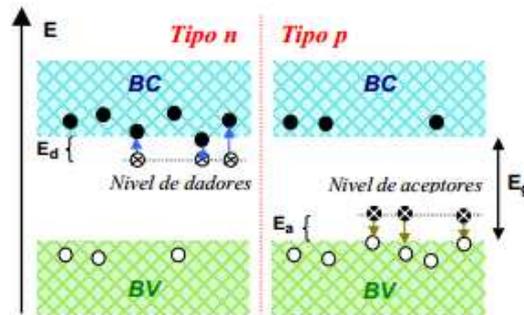


Figura 2. 2: Semiconductor dopado con impurezas. [2]

Cuando un electrón libre se une con un hueco libre en la barrera de unión, el electrón puede pasar a la banda de valencia. La energía perdida en la transición es convertida en energía óptica en forma de un fotón.

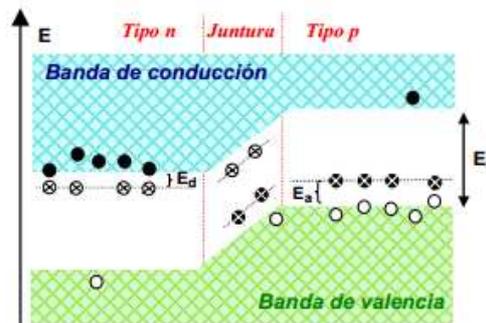


Figura 2. 3: Doblamiento de las bandas de energía. [2]

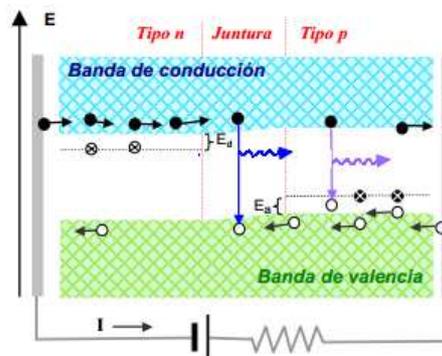


Figura 2. 4: LED alimentado en directa. [2]

En resumen, la emisión de un LED es causada por la recombinación de electrones y huecos que son introducidos en la unión de un semiconductor **pn**

al aplicársele un voltaje directo. Como se dijo anteriormente el LED es un diodo p-n y como tal su curva característica es parecida a la de un diodo normal de unión p-n. Su tensión de codo está entre 1,2V y 2V dependiendo del material semiconductor. Su resistencia dinámica varía desde unos pocos ohms hasta decenas de ohms. La tensión de ruptura es de unos 5V.

En la figura 2.5 se muestra un factor de limitación muy importante para los LEDs, la potencia máxima disipable y su dependencia con la temperatura. La estructura del Diodo de emisión lateral de luz, se asemeja a la del diodo láser, sólo que en el láser se debe diseñar de forma que se obtenga una cavidad óptica de alta calidad que produzca realimentación óptica. Una variación escalón en el gap energético provoca una variación escalón de la constante dieléctrica y del índice de refracción de forma que, si estos son los adecuados, la onda óptica queda confinada en la zona activa.

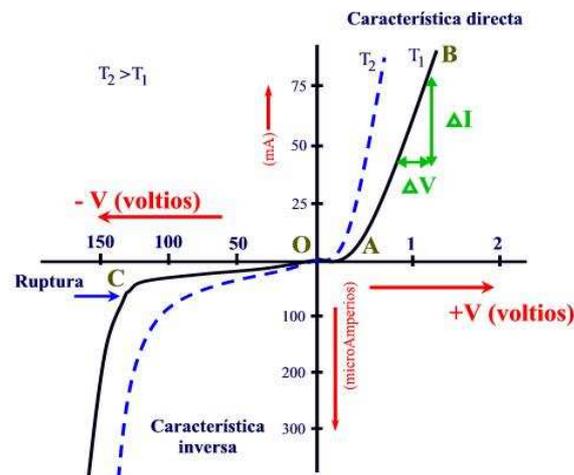


Figura 2. 5: Curva característica de un diodo LED¹

2.1.1.2. DIODOS LÁSER – LD.

El láser tiene emisión coherente y en ésta cuando un fotón se emite tiene una correlación muy fuerte con los demás en todos los parámetros ya mencionados, debido a la emisión estimulada, en la figura 2.6 se muestran las mejoras entre un LD y LED.

¹ Fuente: Recuperado el 06 Mayo 2012 de la página web: <http://www.tecnologia-informatica.es/tecnologia/lampara-con-diodos-leds.php>

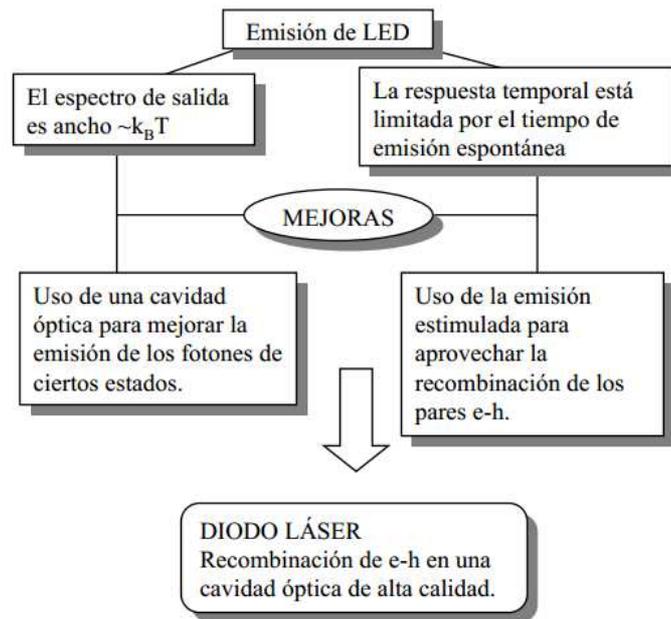


Figura 2. 6: Mejoras del diodo laser versus diodo emisor de luz

2.1.2. FOTODETECTORES

Dentro de un sistema de comunicación óptica se encuentra un fotodetector, que se encarga de transformar la energía radiante de la señal óptica proveniente del LED en energía eléctrica, para que sea recuperada la señal de información. Los fotodetectores se clasifican en dos grupos: térmicos y fotoeléctricos.

2.2. LA FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica es un medio flexible y extremadamente fino, capaz de conducir energía de naturaleza óptica. La misma presenta una serie de ventajas con respecto a otros medios de transmisión de datos, por ejemplo:

- a. Ancho de banda amplio.
- b. Atenuación baja.
- c. Inmunidad electromagnética.
- d. Tamaño pequeño.
- e. Seguridad con respecto a su manipulación
- f. Seguridad con respecto a la transmisión de datos

2.2.1. FIBRA MULTIMODO.

En la actualidad existen dos tipos de fibra multimodo:

a) Fibra multimodo de índice escalonado.

Las fibras ópticas multimodo de índice escalonado, se caracterizan por:

- Permitir el establecimiento de diferentes modos de propagación. Esto ocurre ya que el diámetro del núcleo es varias veces mayor que la longitud de onda (0.85 - 1.3 μm).
- Índice de refracción en el núcleo n_1 y en el revestimiento n_2 constante. Donde n_1 es siempre mayor que n_2 y como entre los dos índices se crea un salto se le denomina de índice en escalón. En este tipo de fibra hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden paralelos al eje y aquellos que lo hacen con cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida, provocando la deformación del pulso inicial.

$$n_2 = n_1(1 - \Delta)$$
$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

En la frontera entre el núcleo y el revestimiento ocurre una reflexión total interna, el ángulo crítico en este caso será:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = 1 - \Delta$$
$$\theta_c = \sin^{-1}(1 - \Delta)$$

La diferencia de los índices de refracción de las fibras usadas en comunicaciones más común varía entre 0.007 y 0.02. Para una fibra SI (salto de índice), el número de modos conducido por la fibra es:

$$N = \frac{0.5(\pi d A_N)^2}{\lambda^2}$$

En la fibra MM se presentan dos tipos de rayos: meridionales y oblicuos.

Rayos Meridionales

Entran a través del eje de la fibra y quedan contenidos en un plano perpendicular a su sección transversal, deben reflejarse internamente en la frontera entre el núcleo y el revestimiento, tal como se muestra en la figura 2.7.

Para ello debe de cumplirse que:

$$\theta_o \leq \sin^{-1} \left\{ \frac{[n_1(2\Delta - \Delta^2)]^{\frac{1}{2}}}{n_o} \right\}$$

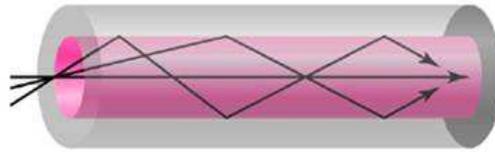


Figura 2. 7: Rayos meridionales [1]

Rayos oblicuos

No entran a través del eje, ni son paralelos a él, sino que se reflejan internamente siguiendo una trayectoria helicoidal como el mostrado por la figura 2.8. La ecuación que define al ángulo crítico para rayos oblicuos es:

$$\sin \theta_c = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{r_o}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n_1} (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

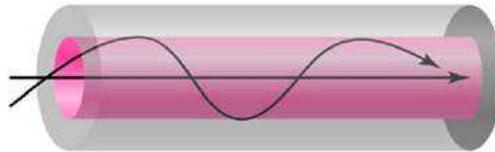


Figura 2. 8: Rayos oblicuos [1]

Se deben procurar diferencias pequeñas entre los índices de refracción del núcleo y el revestimiento para lograr ángulos críticos grandes, para que los rayos vayan casi paralelos al eje, evitando pérdidas en la capacidad de información de la fibra, ya que los rayos que van por el eje de la fibra y los rayos meridionales de acuerdo a la figura 2.9, se desfazan ligeramente.

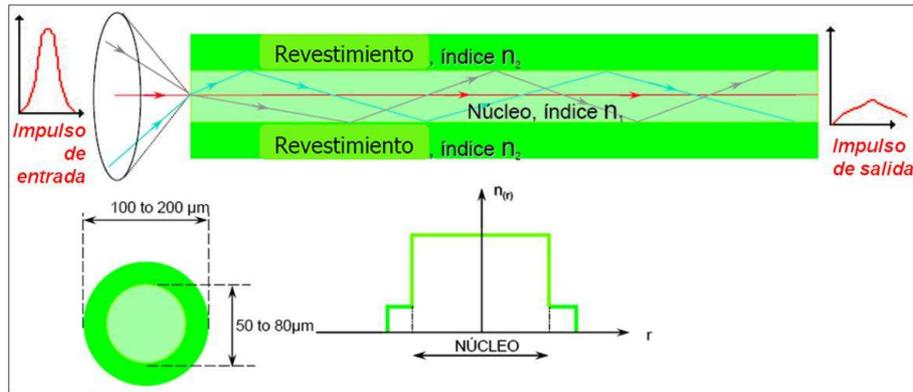


Figura 2. 9: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica MM de índice escalonado [1]

b) Fibra multimodo de índice gradual

Va decreciendo gradualmente del eje del núcleo al exterior, los rayos luminosos no son reflejados sino curvados según se aproximan al revestimiento. Los rayos que recorren un trayecto más largo permanecen más tiempo en la periferia de la fibra donde el índice de refracción es menor y por tanto la velocidad de propagación es mayor. Así los rayos que recorren más distancia se desplazan más rápidamente que los que cubren menor distancia, tal como se ilustra en la figura 2.10.

Por tanto todos los rayos llegan casi al mismo tiempo al final del recorrido. Con esto se logra menor atenuación. Para una fibra de índice gradual (GI), el número de modos conducido por la fibra es:

$$N = \frac{0.25(\pi d A_N)^2}{\lambda^2}$$

Las fibras MM son utilizadas para distancias de hasta 20 Km y no suelen emplearse con regeneradores intermedios.

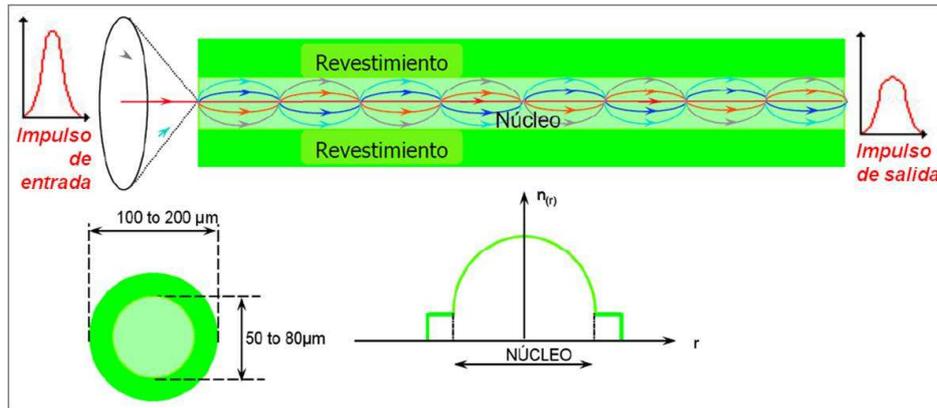


Figura 2. 10: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica MM de índice gradual [1]

2.2.2. FIBRA MONOMODO

En la figura 2.11 se puede observar que la propagación tiene lugar de un sólo modo. Esto se logra por la disminución considerable del diámetro del núcleo, que hace que la luz se propague en un haz comprimido, evitando la dispersión modal. Utilizados para cables locales, largas distancia y submarinos con grandes velocidades de transmisión, ya que en actualidad son los soportes de las redes de transporte.

Existen 3 tipos de fibras ópticas monomodo estandarizadas por la UIT:

1. Rec. G-652: Fibra óptica Monomodo Estándar, cuya longitud de onda de dispersión nula esta situada en $\lambda=1310$ nm y puede utilizarse en $\lambda=1550$ nm.
2. Rec. G-653: Fibra óptica Monomodo con dispersión desplazada, cuya longitud de onda dispersión nula está situada en torno a $\lambda =1550$ nm y puede utilizarse en $\lambda =1310$ nm.
3. Rec. G-654: Fibra óptica monomodo con pérdida minimizada a 1550 nm.

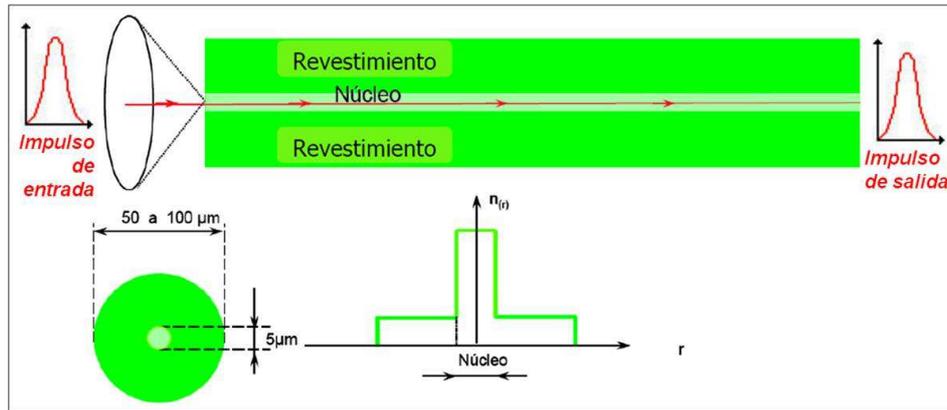


Figura 2. 11: Transmisión de la luz por el interior de la fibra óptica SM [1]

La distancia entre repetidores depende del ancho de banda de la fibra, donde se ha logrado transmisiones con repetidores a 100Km en la tercera ventana de forma experimental con velocidad de 2 Gbps. La fibra SM puede transmitir las longitudes de onda mayores a la longitud de corte, la cual es proporcional al índice de refracción del núcleo, es decir:

$$\lambda_c = \frac{2\pi a n_1 \sqrt{2 \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1} \right)}}{v_c}$$

De donde:

$\lambda_c \Rightarrow$ es la longitud de onda de corte (μm)

$a \Rightarrow$ es el radio del núcleo (μm)

$n_1 \Rightarrow$ es el índice de refracción del núcleo.

$n_2 \Rightarrow$ es el índice de refracción del revestimiento.

$v_c \Rightarrow$ es 2.405 frecuencia de corte normalizada para fibras SM.

2.2.3. PARÁMETROS EN LA TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

2.2.3.1. Atenuación.

La atenuación no es más que la disminución de la potencia de señal a medida que ésta se propague, donde la reducción de potencia se produce exponencialmente con respecto a la longitud recorrida. [3] La atenuación tiene varios efectos adversos sobre el funcionamiento, que incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema. [4] De acuerdo a la siguiente expresión se calcula la pérdida de potencia en un cable de fibra óptica. [5]

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

El ancho de banda determina la capacidad de transmitir información, es decir que los sistemas de gran capacidad codifican la información de forma binaria (unos y ceros). El número de pulsos (o bits) por segundo es inversamente proporcional a su duración, donde las propiedades del ancho de banda de una fibra óptica se pueden entender como el mínimo ancho de pulso que puede ser usado. [6]

Las pérdidas de potencia son debidas tanto a factores intrínsecos (características de las fibras como el índice de absorción de luz del material, la pureza de éste), como extrínsecos (cómo se produce la unión). Las fibras MM sufren mayores pérdidas de atenuación que las fibras SM, causadas principalmente por dispersión de la onda luminosa, generada por las impurezas. La tabla 2.1 se observa las diferentes potencias de salida como porcentajes de la de entrada, para cualquier cable de fibra óptica, con valores distintos de pérdidas en dB. Es decir, un cable que sufre una pérdida de 3 dB reduce la potencia de salida 50% de la de entrada.

Tabla 2. 1: Porcentaje de potencia de salida en función de la pérdida en (dB).

[4]

Pérdida (dB)	Potencia de Salida %
1	79
3	50
6	25
9	12.5
10	10
13	5
20	1
30	0.1
40	0.01
50	0.001

En la figura 2.12 se muestra los tipos de atenuación típicas de una fibra SM y el ancho aproximado de las bandas de transmisión.

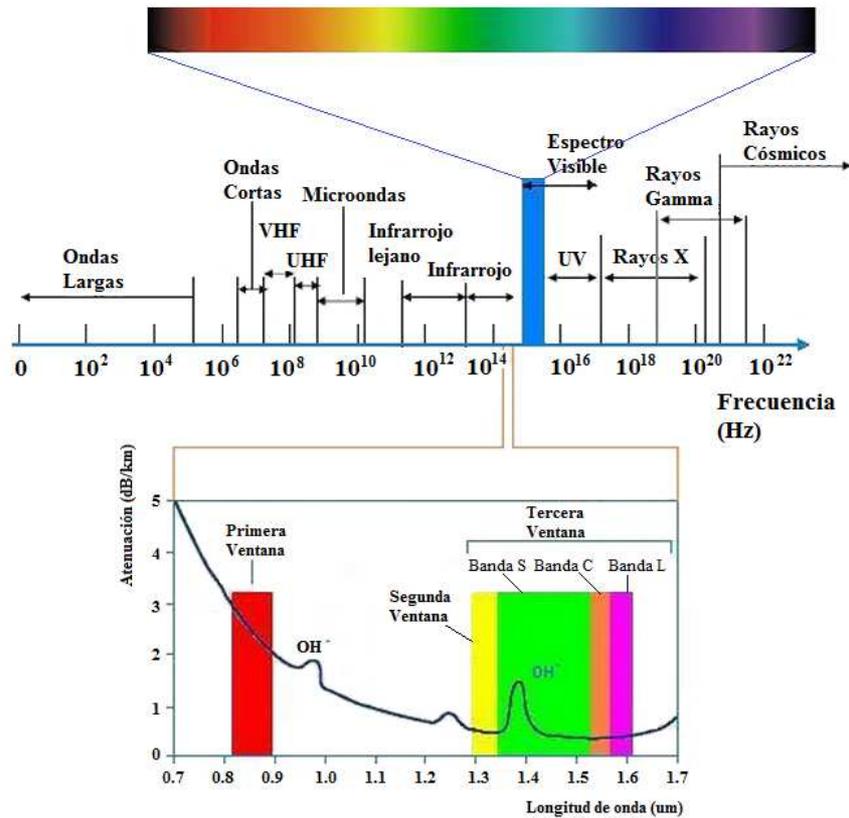


Figura 2. 12: Curva de atenuación de una fibra monomodo (SM).

De la figura 2.12, la primera ventana se encuentra en $0.85\mu\text{m}$, la segunda ventana situada en $1.3\mu\text{m}$ y la tercera ventana situada en $1.55\mu\text{m}$. La tercera ventana a su vez se divide en tres bandas, la banda S, la banda C y la banda L. Dichas bandas o regiones del espectro son empleados para la transmisión por fibra óptica, porque son zonas de baja atenuación.

La atenuación en la primera ventana es de 2.5 dB/km , en la segunda ventana es de 0.4 dB/km y en la tercera ventana de 0.2 dB/km . Como se ve en la figura 2.12 conforme aumenta la longitud de onda (λ), la atenuación disminuye, debido a la dispersión de Rayleigh, pero a partir de 1600nm aumenta debido a las pérdidas estimuladas por la absorción del silicio. A continuación se exponen algunas de las causas de atenuaciones en una fibra óptica. Entre ellas se encuentran:

- Pérdidas por Absorción: Intrínseca y Extrínseca.

- Pérdidas por Dispersión: Esparcimiento de Rayleigh, Raman y Brillouin.
- Temporal: Modal.
- Cromática: Material y Guía onda
- Pérdidas por reflexión de Fresnel.
- Pérdidas por Microcurvaturas.
- Pérdidas por Flexiones o Curvaturas.
- Pérdidas por los Empalmes.
- Pérdidas por Conexión (conectores).

2.2.3.2. Ancho de banda [1]

Puesto que sólo es necesario transmitir el componente fundamental de la onda cuadrada en una aplicación digital, se puede decir que el ancho de banda eléctrico B de la fibra para máxima velocidad de transmisión será:

$$B = \frac{1}{2\Delta t}$$

Donde:

B = Ancho de banda eléctrico, en Hertz (Hz)

Δt = Dispersión total, en segundos (s)

Asimismo, el ancho de banda óptico es el producto del ancho de banda eléctrico B y la longitud de la fibra. En la figura 2.13 se muestra la forma de evaluar a las fibras MM y la ecuación para hallar dicho ancho de banda es:

$$B_{\text{optico}} = Bl \text{ [Hz} \cdot \text{km]}$$

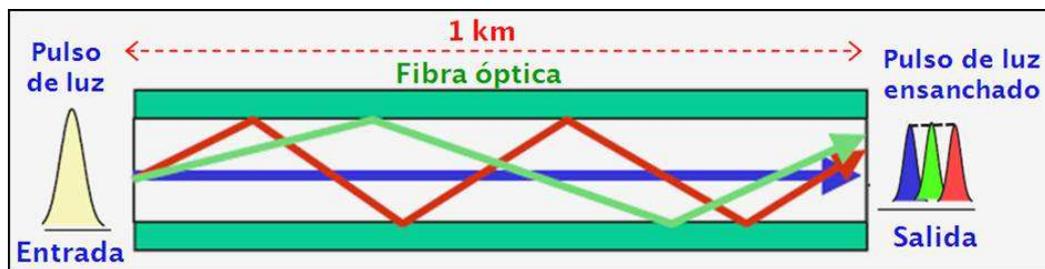


Figura 2. 13: Ancho de banda de una fibra MM, donde el pulso de luz se ensancha. [1]

En la figura 2.14 se muestra la forma de evaluar a las fibras SM y la ecuación para hallar dicho ancho de banda es:

$$B_{\text{optico}} = Bl = \frac{1}{2D} \quad [\text{Hz} \cdot \text{km}]$$

Donde:

B = Ancho de banda eléctrico, en Hz.

l = Longitud de la fibra óptica, en km.

D = Dispersión de la fibra, en ps/km.



Figura 2. 14: Ancho de banda de una fibra SM, donde el pulso de luz se ensancha. [1]

2.2.3.3. Dispersión

Teóricamente la dispersión se considera como el ensanchamiento de los pulsos de luz, donde la señal luminosa se deforma a medida que se propaga a través del canal óptico de la fibra. Existen 3 tipos de dispersión, y son:

- **Dispersión del material:** es debido al conjunto de longitudes de onda contenido en un pulso, ya que el índice de refracción varía con la longitud de onda (λ), la velocidad del grupo (v_g) de un modo será función de λ . Debido a que las fuentes de luz tienen diferentes componentes en su espectro, lo que tardará un tiempo distinto de transmisión, porque las velocidades a las que viajan no son iguales, produciendo ensanchamiento del pulso emitido (ver figura 2.15). Este tipo de dispersión se la conoce también como dispersión cromática. La manera de evaluar la dispersión del material es:

$$D = D_c \Delta\lambda$$

Donde:

D = Dispersión de la fibra, en ps/km.

D_c = Dispersión cromática, en ps/nm-km.

$\Delta\lambda$ = Ancho espectral de la fuente, en nm.

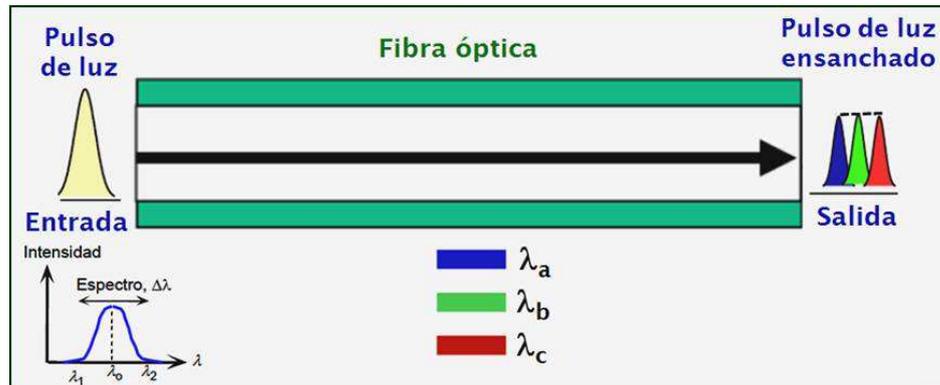


Figura 2. 15: Dispersión del material o cromática de una fibra SM, con ensanchamiento del pulso emitido. [1]

- **Dispersión modal:** debido a que los haces de luz viajan en trayectorias diferentes para cada modo de la fibra óptica, llegando a destino en diferentes tiempos, como se muestra en la figura 2.16.

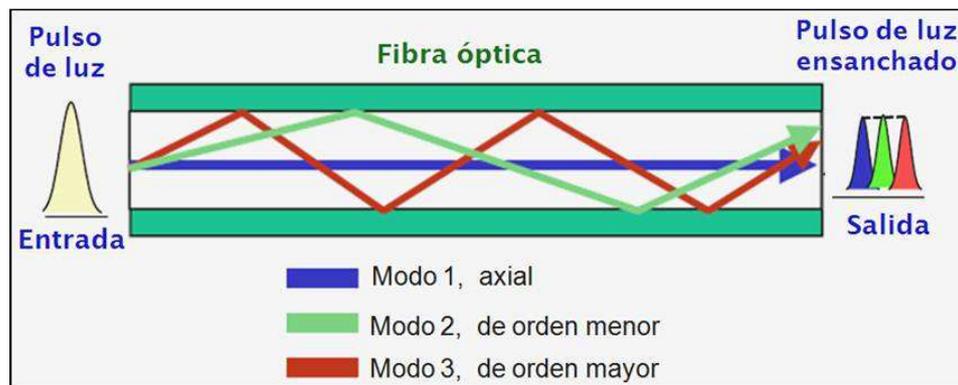


Figura 2. 16: Dispersión modal de una fibra MM, con ensanchamiento del pulso emitido. [1]

- **Dispersión por guía de onda:** dependen del número de modos (5) que dependen de la longitud de onda. En el caso de guías de ondas en una fibra MM, son sensiblemente pequeñas para todos los modos alejados de la longitud de corte². Ya que los modos próximos al corte, generalmente, transportan una fracción pequeña de la potencia total y suelen sufrir pérdidas más elevadas, la contribución a la dispersión por esta causa puede ser omitida. [7]

² Longitud de corte, es aquella a partir de la cual se transmite más de un modo.

2.3. REDES PON

Las Redes Ópticas Pasivas toman su modelo de las redes CATV, compuesta por varios nodos ópticos unidos con la cabecera a través de fibra óptica, de los cuales se derivan, mediante una arquitectura compartida de cable coaxial, los accesos a los abonados. Normalmente, en las redes CATV, como muestra la figura 2.17 cada nodo óptico ataca a un determinado número de usuarios (en función del ancho de banda que se quiere asignar a los usuarios) utilizando cable coaxial y splitters (divisores) eléctricos.

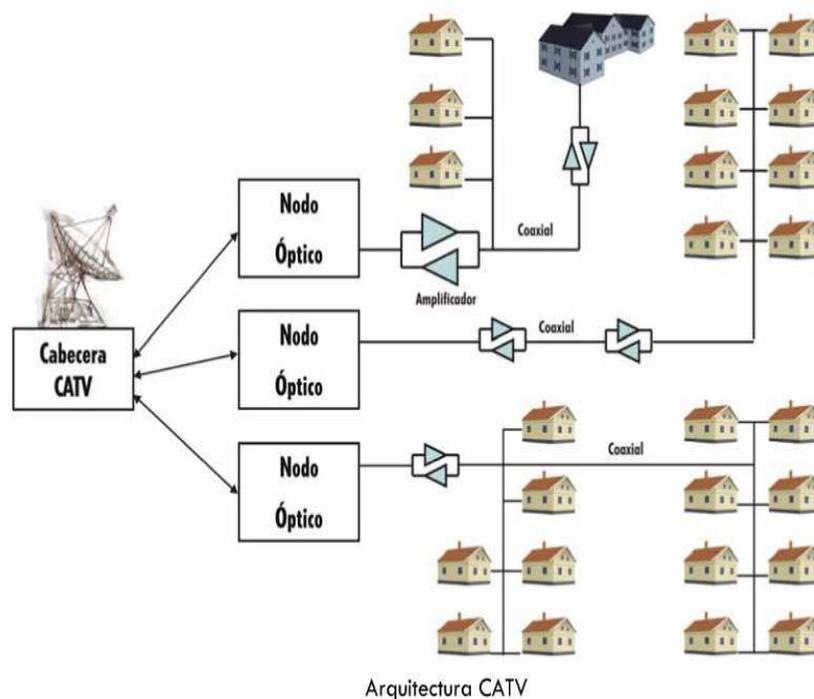


Figura 2. 17: Modelo de red CATV similar a redes ópticas pasivas.

Fuente:

Las redes ópticas pasivas intercambian el tramo de coaxial por fibra óptica monomodo y los derivados eléctricos por divisores ópticos. De esta manera, la mayor capacidad de la fibra permite ofrecer unos anchos de banda mejorados, en canal descendente y sobre todo en canal ascendente, superando la limitación típica de 36Mbps de los sistemas cable módem DOCSIS y EURODOCSIS por nodo óptico.

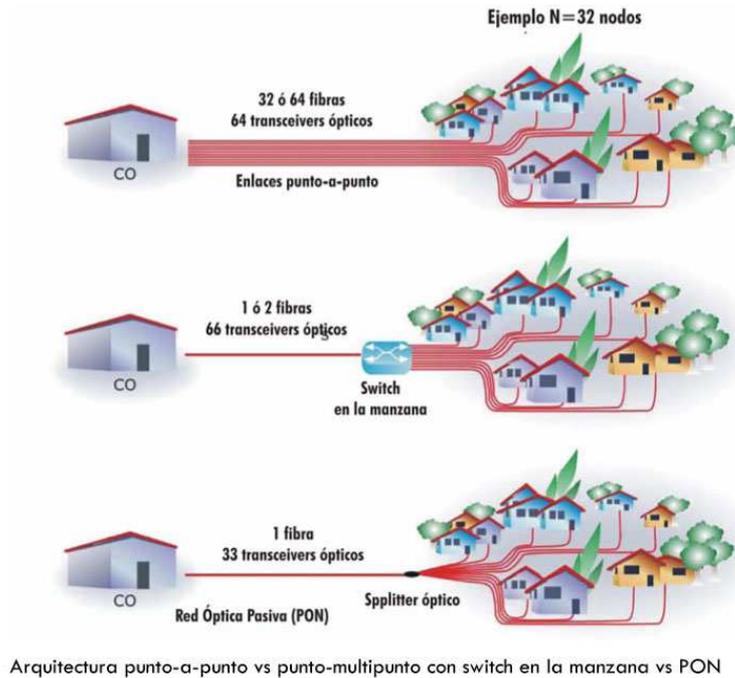


Figura 2. 18: Arquitectura punto a punto vs punto multipunto con switch en la manzana vs PON.

Fuente:

La arquitectura PON (ver figura 2.18) está centrando la atención de la industria de las telecomunicaciones gracias a las ventajas que se presentan a continuación:

- ✓ Las redes PON permiten atacar a usuarios localizados a distancias de hasta 20 Km desde la central (o nodo óptico). Esta distancia supera considerablemente la máxima cobertura de las tecnologías DSL (máximo 5Km desde la central).
- ✓ Las redes PON minimizan el despliegue de fibra en el bucle local, al poder utilizar topologías árbol-rama mucho más eficientes que las topologías punto-a-punto. Además, simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo.
- ✓ Las PON ofrecen una mayor densidad de ancho de banda por usuario debido a la mayor capacidad de la fibra para transportar información que las alternativas de cobre (xDSL y CATV). Como la arquitectura punto-multipunto, las PON permiten superponer una señal óptica de

Televisión procedente de una cabecera CATV en otra longitud de onda sin realizar modificaciones en los equipos portadores de datos.

- ✓ Las redes PON aumentan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al ser inmunes a ruidos electromagnéticos, no propagar las descargas eléctricas procedentes de rayos.

PON permite crecer a mayores tasas de transferencia superponiendo longitudes de onda adicionales. Aunque las redes PON como concepto existen desde la década de los 90, solo en los últimos dos o tres años han llegado a alcanzar una madurez tecnológica que permiten que numerosos operadores comiencen a utilizarlas en forma masiva. En estos momentos parece que sea la opción preferida para edificar la futura red de acceso al abonado, una vez agotadas las posibilidades de crecimiento de las tecnologías xDSL.

2.4. APON (ATM Passive Optical Network)

Fue la primera red que definió la FSAN, era un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el fin de agrupar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre el número de ONUs que estén conectadas. En canal descendente, a la trama de celdas ATM, se introducen dos celdas PLOAM para indicar el destinatario de cada celda y otra más para información de mantenimiento. Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbps que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbps.

Posiblemente APON provee el conjunto más rico y exhaustivo de características de operación y mantenimiento (OAM) de todas las tecnologías PON. Como contrapartida, la interconexión de los equipos de cabecera APON OLT con las redes de transporte se realiza a nivel SDH/ATM, requiriendo una infraestructura de transporte de esta naturaleza.

Por otro lado el ancho de banda de los equipos APON está limitado a 155Mbps repartido entre los usuarios que componen en nodo óptico. Posteriormente este límite fue ampliado a 622Mbps.

El termino APON apoyado en un principio por la FSAN fue remplazado por BPON (Broadband PON Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha) haciendo referencia a la posibilidad de dar soporte a otros estándares de banda ancha, incluyendo Ethernet, distribución de video, VPL (líneas privadas virtuales, *virtual private line*), etc.

2.5. BPON (Broadband PON):

Es un estándar basado en anterior (APON), pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir, tráfico asimétrico: canal descendente > 622 Mbps // Canal ascendente > 155 Mbps y tráfico simétrico: canal descendente y ascendente > 622 Mbps.

BPON no es la última intervención de la FSAN a las redes ópticas pasivas. El aumento del ancho de banda demandado por los usuarios unido al balanceo del tipo de tráfico exclusivamente hacia tráfico IP, incidieron directamente en el desarrollo de una nueva especificación que se apoyaba en el estándar BPON, altamente ineficiente para el transporte de tráfico IP, que mejorara utilizaba un procedimiento de encapsulación denominado GFP (Procedimiento General de Segmentación General Framing Procedure) que aumentaba la eficiencia de la arquitectura, permitiendo mezclar tramas ATM de tamaño variable. No obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas.

2.6. GPON (Gigabit PON):

Es una evolución de BPON, nos ayuda a mejorar la transmisión del tráfico IP y ATM mediante celdas de tamaño variable. Este nuevo estándar surgió con

el fin de establecer nuevas exigencias a la red: Soporte de todos los servicios: voz (TDM, tanto SONET como SDH), Ethernet (10/100 BaseT), ATM. Alcance máximo de 20 km, aunque el estándar se ha preparado para que pueda llegar hasta los 60 km. Soporte de varios bit rate con el mismo protocolo, incluyendo velocidades simétricas de 622 Mb/s, 1.25 Gb/s, y asimétricas de 2.5 Gb/s en el enlace descendente y 1.25 Gb/s en el ascendente.

2.7. OAM&P extremo a extremo.

Seguridad del nivel de protocolo para el enlace descendente debido a la naturaleza multicast de PON. El número máximo de usuarios que pueden colgar de una misma fibra es 64 (el sistema está preparado para dar hasta 128). GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que ofrece:

- ✓ Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay y muchas más. Alcance físico de 20 km.
- ✓ Soporte para varias tasas de transferencia, incluyendo tráfico simétrico de 622Mbps, tráfico simétrico de 1.25Gbps y asimétrico de 2.5Gbps en sentido descendente y 1.25 en sentido ascendente.
- ✓ Importantes facilidades de gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONT.
- ✓ Seguridad a nivel de protocolo (cifrado) debido a la naturaleza multicast del protocolo.

2.8. EPON (Ethernet PON):

Este tipo de red se caracteriza porque transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM. Se mejora el tráfico IP, la seguridad y soporta mayores velocidades de transmisión de datos. A finales de los años 90, PON comenzó a ser considerado tanto por las operadoras como por los suministradores como una interesante solución para ofrecer acceso de fibra óptica hasta los usuarios residenciales. Su naturaleza punto a multipunto, resultaría en ahorros significativos en la instalación de la fibra óptica y en interfaces ópticos.

Además, PON no requiere de dispositivos electrónicos u optoelectrónicas activos para la conexión entre el abonado y el operador y, por lo tanto, supone una inversión y unos costes de mantenimiento considerablemente menores. A medida que la fibra se abarataba y los distintos organismos regulatorios de cada país se interesaban más por las conexiones de redes de fibra óptica, los operadores y fabricantes comenzaron a impulsar las tecnologías PON.

En la primavera de 1995, se formó el FSAN (Full Service Access Network), con el fin de promover estándares mediante la definición de un conjunto básico de requerimientos y, de este modo, mejorar la interoperabilidad y reducir el precio de los equipos. Las especificaciones de PON del FSAN, formado por los principales operadores y suministradores de equipos de telecomunicación y medida del mundo, reflejan las necesidades y el consenso de sus miembros.

En 1998, APON (ATM PON) fue la primera especificación concebida por el FSAN. APON tuvo un notable éxito en cuanto a despliegue comercial, pero carecía de la capacidad requerida para ofrecer vídeo. Sus velocidades iniciales eran de 155 Mbps, aunque se mejoró posteriormente para soportar hasta 622 Mbps. El protocolo de transmisión se basa en ATM, lo cual supone problemas a la hora de adaptar y provisionar servicios, así como baja eficiencia para el transporte de datos.

En 2001, el FSAN presenta BPON (Broadband PON), una tecnología que también se basa en ATM, con el problema de costes y complejidad que ello supone, pero introduce una longitud de onda adicional para transportar vídeo RF. Mientras BPON estaba siendo desplegado, con un gran éxito en Japón y EEUU, se definían EPON y GPON. EPON (Ethernet PON) era definido en 2004 por el grupo EFM (Ethernet First Mile) del IEEE como la técnica PON de nueva generación que, influenciada por la tecnología Gigabit Ethernet existente, permitía a los suministradores de equipos lanzar rápidamente al mercado equipos de mayores anchos de banda a precios más competitivos.

No obstante, EPON carecía de muchas funcionalidades necesarias para el transporte de otros servicios con calidad de operador que daban lugar a soluciones propietarias. Así mismo, la eficiencia de línea es baja debido a una codificación de línea con gran sobrecarga. Aun así, es una tecnología con un notable éxito en Corea del Sur, Japón y Taiwán.

Unos meses antes que EPON, también en 2004, se terminaba de definir GPON (Gigabit Passive Optical Network) por parte del ITU-T. El estándar incluye varias velocidades de línea de hasta 2,488 Gbps simétricas y asimétricas. Con una menor sobrecarga de codificación y tiempos de guarda menores, el ancho de banda neto de GPON es mucho mayor que el de EPON. Además de transportar tráfico de datos nativo, GPON también es capaz de transportar eficientemente otros servicios. El único problema en el momento de su definición era la mayor complejidad de esta tecnología y de los componentes, que hacían imposible tener productos comerciales en tan poco tiempo como en EPON. Sin embargo, desde el año 2006 este problema está resuelto y ya hay muchos operadores que han comenzado su despliegue.

2.9. Ventajas de las redes PON

Aumento de la cobertura hasta los 20 Km. (desde la central, ver figura 2.19). Con tecnologías DSL como máximo se cubre hasta los 5,5 Km.

- a) Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario.
- b) Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan a los ruidos electromagnéticos.
- c) Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- d) Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.
- e) Más baratas que las punto a punto.

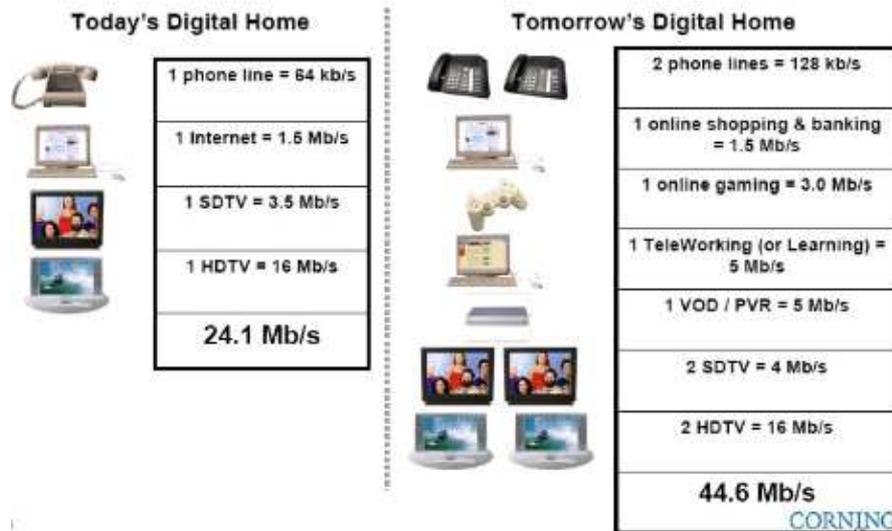


Figura 2. 19: Aumento de cobertura de acuerdo a la demanda de servicios

Fuente:

2.10. Costes de operación, mantenimiento y crecimiento

Una de las “virtudes” de los despliegues de fibra hasta casa del usuario reside en que la planta exterior, fibras más divisores, es además totalmente pasiva, resistente hasta cierto punto de condiciones ambientales de humedad y temperatura. Todos ello hace que el mantenimiento de planta exterior se reduzca. Por el contrario, y sobre todo en los sistemas PON, el equipo de usuario es activo y “complejo” hasta cierto punto. Aunque los sistemas PON tienen procedimientos automáticos de ajuste y autoconfiguración. En nuestro conocimiento, en la actualidad los equipos de los sistemas PON son realizados por personal del operador desplazado a casa del usuario, aunque vemos factible que en un futuro la auto-instalación por parte del usuario sea factible. En los sistemas punto a punto, equipos Ethernet de “largo” alcance, estas consideraciones no son aplicables.

Las redes de fibra hasta el usuario tienen el problema de planificación y predicción de la demanda de cualquier infraestructura de red fija, es decir hay que planificar los tendidos de fibra para que puedan hacer frente al crecimiento del número de usuarios en un período determinado, Hacemos notar que sí poseen la flexibilidad intrínseca para hacer frente a aumentos de la capacidad por usuario para hacer frente a las introducción de servicios más exigentes, es

decir pasar de 2,5 a 10 o incluso a multiplexación por división de longitud de onda (λ).

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.

CAPÍTULO 3: PROGRAMA DE SIMULACIÓN PON DESIGN SOFTWARE

PON DESIGN SOFTWARE en adelante PDS, es un software que permite diseñar redes ópticas pasivas por medio de enlaces de fibra óptica, es un completo sistema de ingeniería asistida por computador y con las facultades para:

1. Analizar la consistencia y viabilidad de los diseños del usuario.
2. Calcular una mínima cantidad de amplificadores ópticos en la red diseñada.
3. Señalar la ubicación exacta de cada amplificador en la red.
4. Efectuar análisis espectral para calcular el ancho de banda empleado para cada tramo de fibra óptica del sistema de comunicación.

PDS se compone de dos módulos principales, el programa de **diseño de red** y el programa de **análisis espectral**. El software que se va emplear para las respectivas simulaciones debe cumplir con un mínimo de requerimientos de hardware:

1. Sistema operativo Windows (xp, vista, 7).
2. Memoria RAM de 512 MBytes.
3. Microsoft Office Excel.

El requerimiento de Excel para Windows se debe a que por comodidad del usuario, PDS visualiza los resultados del modulo de diseño de red en una hoja de cálculo, así el diseñador podrá realizar tratamientos complementarios como el trazo de graficas, presentación de informes, análisis estadístico, entre otros. Es necesario aclarar que los algoritmos y cálculos de PDS en ningún momento utilizan las herramientas de Excel, simplemente lo emplea para mostrar resultados.

3.1. INICIANDO EL SOFTWARE

En la figura 3.1 se muestra la ventana de PDS, al momento de ejecutar el programa instalado, se encontrarán las siguientes secuencias en la pantalla:



Figura 3. 1: Pantalla inicial PDS

Fuente: El autor

3.2. EMPEZAR UN NUEVO PROYECTO

El software con licencia profesional es único para cada pc que sea instalada. Es decir existe una contraseña (ver figura 3.2), previamente suministrada al usuario permitiendo la activación de los recursos del software.



Figura 3. 2: Pantalla introductoria

Fuente: Los autores

3.2.1. MÓDULO DE DISEÑO DE UNA RED EN PDS.

El modulo de diseño de red se encuentra en la ventana principal de PDS como se muestra en la figura 3.3, aquí es donde se mostrará las funciones de cada uno de los iconos, que se pueden apreciar en la tabla 3.1.

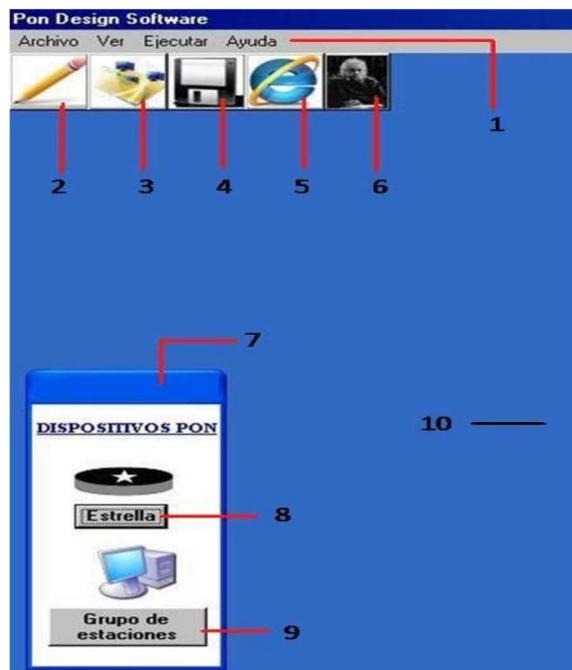


Figura 3. 3: Pantalla de Módulo para diseñar una PON

Fuente: El Autor

Tabla 3. 1: Componentes del modulo de diseño de red.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
1	Menú
2	Nuevo diseño
3	Abrir diseño
4	Guardar diseño
5	PDS en Internet
6	Ejecutar algoritmo entero lineal
7	Ventana de dispositivos de red
8	Agregar una estrella a la red
9	Agregar un grupo de estaciones a la red
10	Área de trabajo

Fuente: El autor

3.2.2. DISEÑANDO UNA RED ÓPTICA PASIVA EN PDS

Para efectos prácticos utilizaremos un clásico ejemplo de una red óptica pasiva (por su siglas en inglés PON), como se muestra en la figura 3.4, se compone de 4 estrellas ópticas en el mismo se tiene 3 grupos de 20, 15 y 28 estaciones cada una, cuenta con 132 enlaces, para los enlaces 1, 2, 5 y 6 tiene una cobertura de 100 km; mientras que para los enlaces 3 y 4 las cobertura es de 150 km; y finalmente desde el enlace 7 al 132 la distancia es de 20 km.

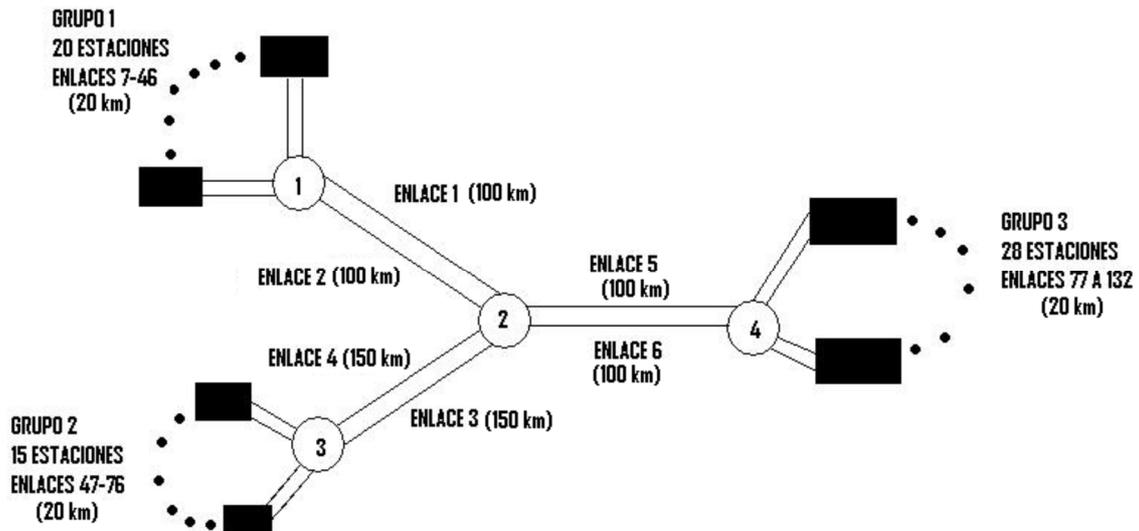


Figura 3. 4: Ejemplo de red PON.

Fuente: PDS

En la tabla 3.2 se muestran los datos técnicos de los dispositivos empleados en el diseño de red mostrada en la figura 3.4:

Tabla 3. 2: Datos técnicos de la red de ejemplo

Pmax	0 dBm
Psen	-30 dBm
A	0.2 dB/km
PNONLINMAX	10 dBm
Gmax	20 Db
Psat	1.55 dBm

Fuente: El Autor

La ventaja de diseñar redes en PDS es la de añadir estrellas ópticas en el mismo diseño sin necesidad de realizar otro proyecto, esto se logra haciendo clic en el botón estrella, misma que se mostrará en la parte superior derecha (ver figura 3.5).

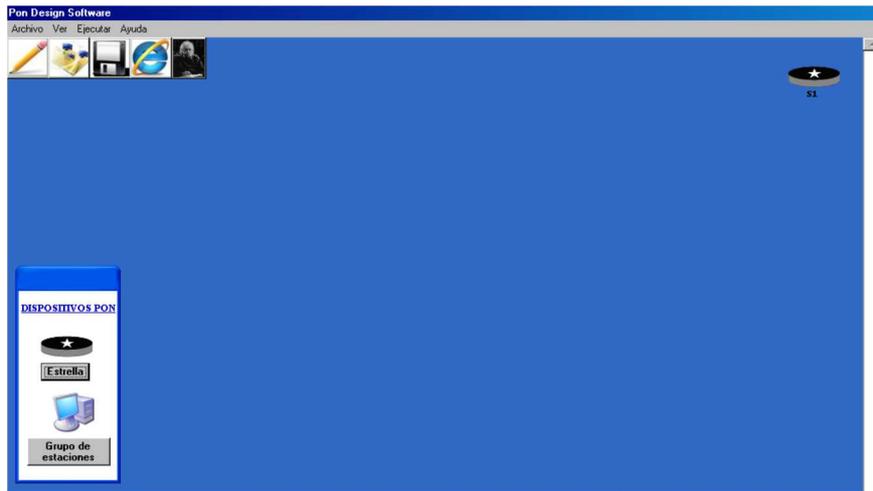


Figura 3. 5: Dispositivo PON tipo estrella óptica.

Fuente: El Autor

3.2.3. ENTORNO DE DISEÑO.

Para el entorno de diseño procederemos a realizar el diseño propuesto en el acápite 3.2.2, previamente hacemos click con el botón primario del ratón sobre la estrella, la que cambia a color rojo, y liberando el botón se mueve la estrella hacia el interior del área de trabajo, como se muestra en la figura 3.6.



Figura 3. 6: Desplazando una estrella óptica

Fuente: El Autor

Una vez determinada su área de trabajo se procederá ha colocar las 3 estrellas ópticas restantes y los grupos de estaciones, como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3. 7: Componentes de una red óptica pasiva.

Fuente: El Autor

De acuerdo a lo indicado anteriormente, procedemos a interconectar los dispositivos mediante enlaces de fibra óptica, presionando el botón secundario del ratón la estrella 1 (S1), seleccionamos de la ventana desplegada la opción conexiones – adicionar. Seguidamente aparecerá la ventana ENLACE, se debe seleccionar estrella 2 (S2) e introducir la distancia que las separa, 100 km, finalmente se hace click en el botón aceptar tal y como se muestra en la figura 3.8.

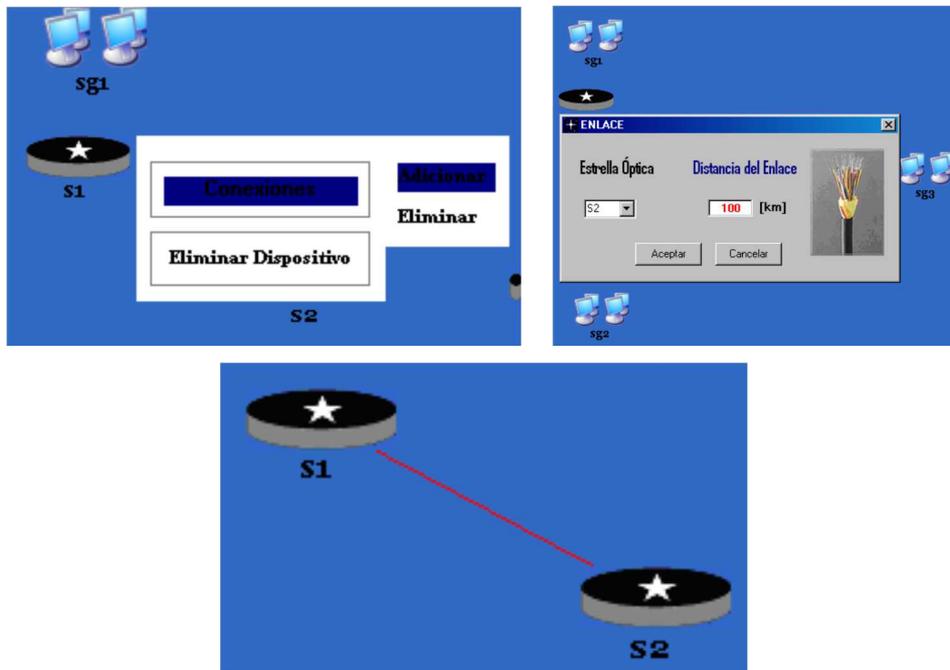


Figura 3. 8: Interconectando las estrella ópticas.

Fuente: El autor

En la figura 3.8 se visualiza únicamente un enlace, pero en realidad el programa PDS internamente lo considera como un enlace doble, de S1 a S2 y de S2 a S1, por lo tanto no es necesario tratar de conectar S2 a S1, el programa ya lo hizo. De la misma forma se hace con las otras conexiones y de acuerdo a las distancias establecidas con los enlaces entre estrellas, tal y como se muestra en la figura 3.9.

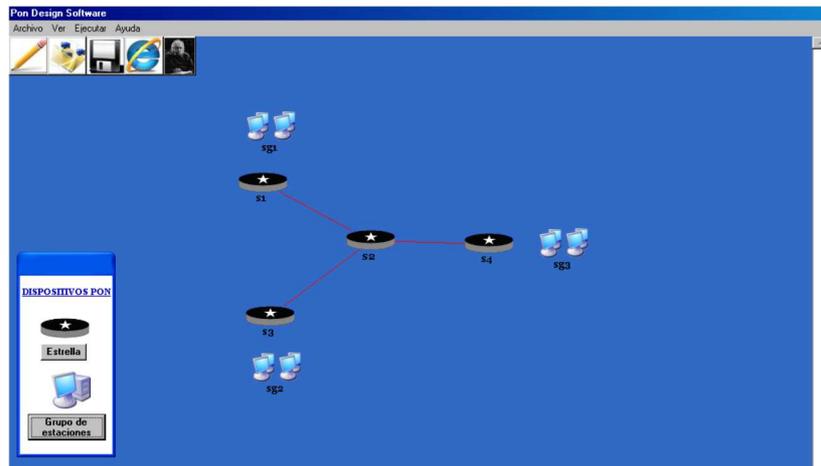


Figura 3. 9: Enlaces entre estrellas.

Fuente: El Autor

Procediendo a ejecutar los enlaces de acceso, haga click en las estaciones y conectar las estrellas del mismo modo que se explicó. Es necesario que un grupo de estaciones exclusivamente puede conectarse a una única estrella, el enlace solo puede realizarse del grupo de estaciones a la estrella y no al contrario, sin embargo el programa lo sigue tomando como un enlace doble, como en la figura 3.10. Los enlaces de acceso son de color azul.

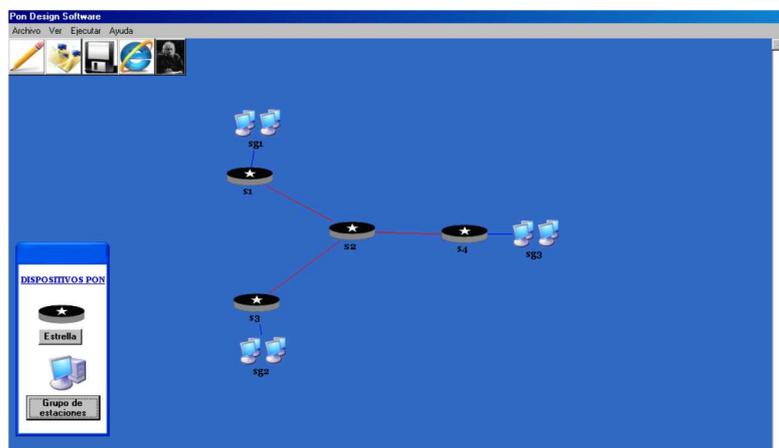


Figura 3. 10: Enlaces de acceso.

Fuente: El Autor

Para el ingreso del número de estaciones hacer doble click sobre cada uno de los grupos, la cual desplegará la ventana mostrada por la figura 3.11.

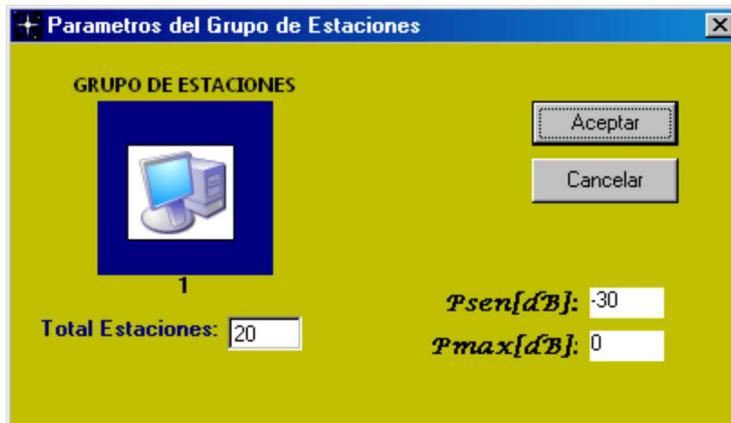


Figura 3. 11: Ventana de estaciones ópticas.

Fuente: El Autor

En la casilla del total estaciones se introduce el número de estaciones de cada grupo, de acuerdo al ejemplo básico sugerido, para el grupo de estación 1 (sg1) corresponden 20 estaciones, para lo cual se debe realizar el mismo procedimiento para cada grupo de estaciones.

3.3. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN EN PDS.

Para todo diseño de una red óptica pasiva (PON) en PDS, se deben considerar algunos parámetros de simulación.

3.3.1. PARÁMETROS DE ESTRELLAS ÓPTICAS.

Uno de los parámetros es la estrella óptica que haciendo doble click a cada estrella óptica accederemos a una ventana que almacena el grado de cada estrella y las pérdidas que genera dentro de la red, en la figura 3.12 se muestra el registro de la estrella 1.

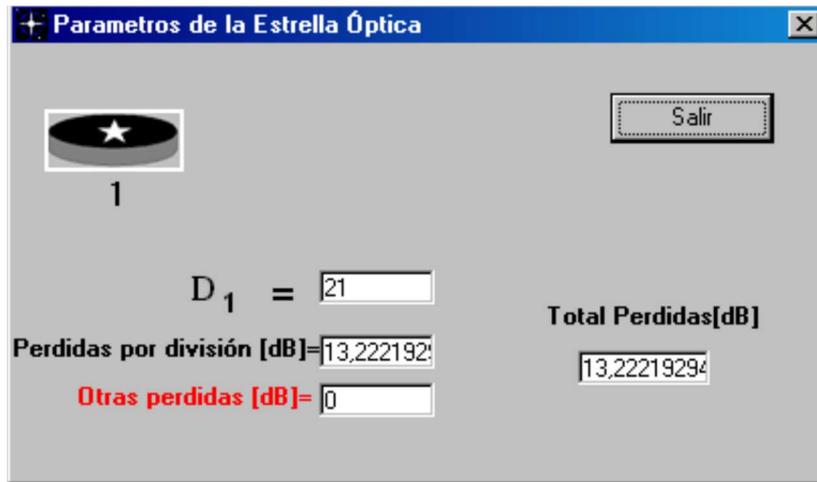


Figura 3. 12: Parámetros de estrellas ópticas.

Fuente: El Autor

3.3.2. PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE UNA PON.

Un proyecto en PDS se fundamenta en la metodología de optimización global, para cumplir con el objetivo de diseño de la red. Los pasos de esta técnica son básicos, a excepción del algoritmo entero lineal, que al finalizar esta sección se comentará sobre el método algorítmico que realiza PDS. Para la ejecución del programa para dar la solución de una PON se tienen 2 opciones como se muestra en la figura 3.13, la primera consiste en hacer click sobre la opción Algoritmo Entero Lineal de la pestaña Ejecutar del menú.



Figura 3. 13: Opciones para ejecutar la solución de red.

Fuente: El Autor

Después de ejecutar la solución de red se desplegará una ventana (ver figura 3.14) denominada **“Logic Window”** en la que se le permite al usuario observar el estado del proceso de solución del programa, él mismo que consiste de 4 procesos (metodología de optimización global):



Figura 3. 14: Ventana de estado de solución de red.

Fuente: El Autor

✓ Consistencia del diseño

El programa analizará el diseño (ver figura 3.15) realizado por el usuario a nivel de las conexiones físicas con el fin de asegurar el normal desarrollo de proceso.



Figura 3. 15: Ventana de consistencia de diseño.

Fuente: El Autor

Si el diseño es correcto, es decir si ningún dispositivo se encuentra aislado, se procederá inmediatamente a aplicar la prueba de viabilidad. De lo contrario se mostrará varios mensajes de alerta como los que se muestran en la figura 3.16, para lo cual se deberá corregir el diseño y ejecutar la solución de red nuevamente.

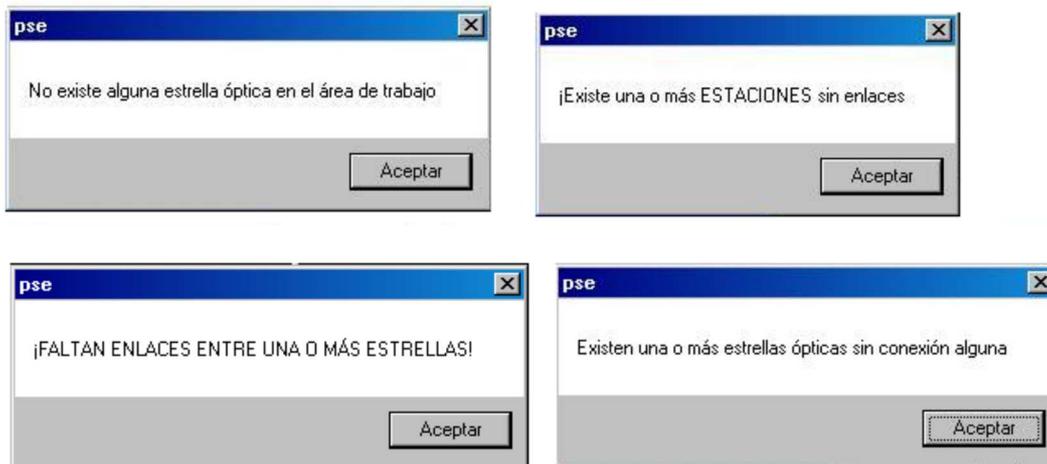


Figura 3. 16: Avisos de advertencia de PDS.

Fuente: El Autor

✓ Prueba de viabilidad

Cuando el diseño de una PON es consistente, el programa realizará el primer paso del método de optimización global. Para esto es necesario ingresar los parámetros de los dispositivos, en la figura 3.17 se muestra el despliegue de un conjunto de ventanas; de acuerdo a la red que tomamos como ejemplo se introducirán los valores.

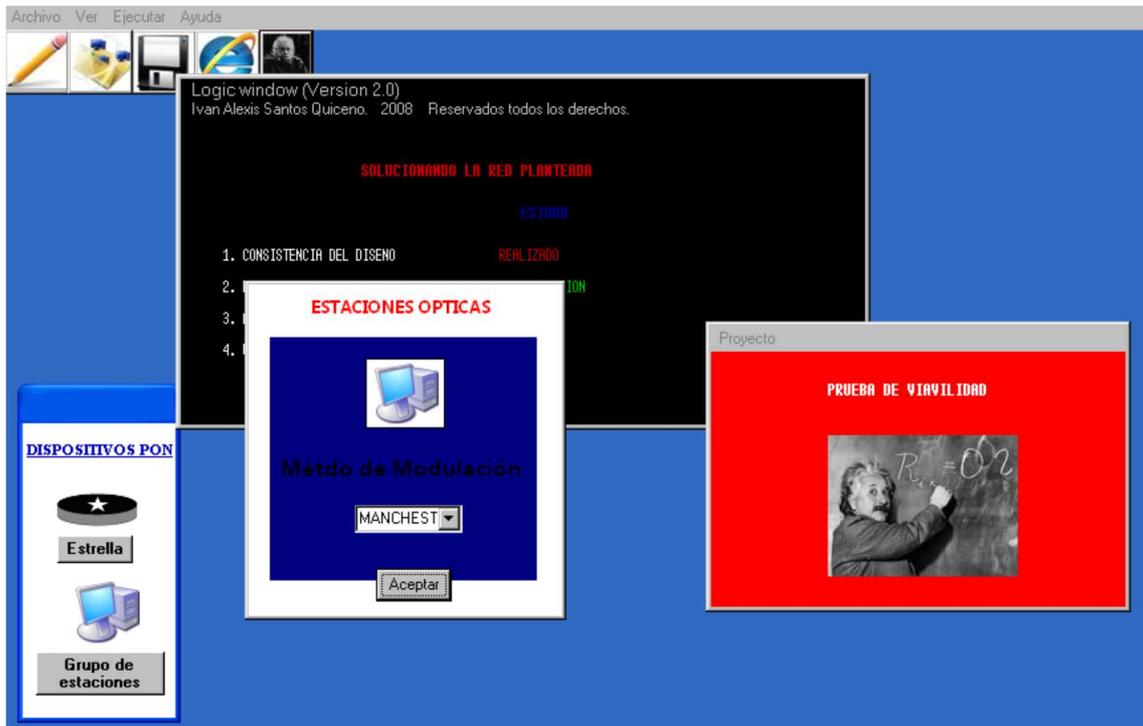


Figura 3. 17: Ventana de prueba de viabilidad.

Fuente: El Autor

3.3.3. PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS.

Estaciones ópticas, permite elegir un esquema de modulación óptica en la cabecera de transmisión, entre las que se puede escoger los siguientes métodos de modulación (ver figura 3.18): NRZ, MANCHESTER, RZ, AMI y analógica.



Figura 3. 18: Opciones para estaciones ópticas.

Fuente: El Autor

Amplificadores ópticos, el estudiante o usuario asignará los valores para la máxima ganancia de pequeña señal y potencia de saturación, como se muestra en la figura 3.19.

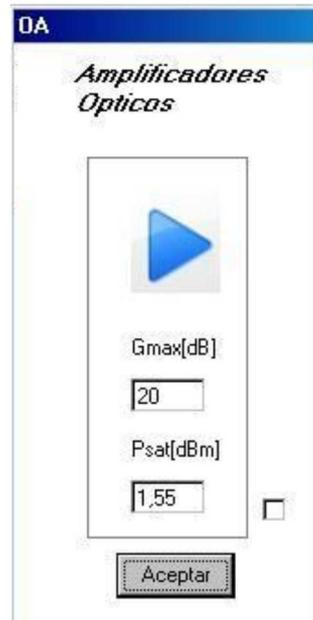


Figura 3. 19: Parámetros de los amplificadores ópticos.

Fuente: El Autor

Fibra óptica, mediante la ventana (ver figura 3.20) propiedades se estipulan los valores de la constante de atenuación de la fibra, la longitud de carrete de fibra, número de conectores, pérdidas por conectores, pérdidas por empalmes y otras adicionales.

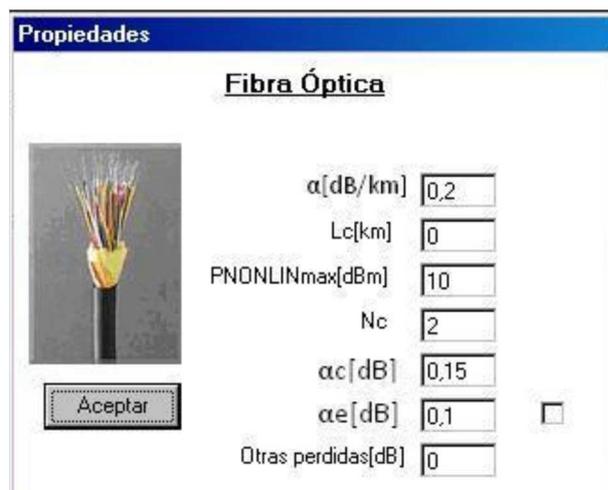


Figura 3. 20: Parámetros para la fibra óptica.

Fuente: El Autor

Estrella óptica, además de las pérdidas por división inherentes a los acopladores ópticos, el diseñador puede ingresar el valor para otras pérdidas como se muestra en la figura 3.21.



Figura 3. 21: Ventana de acoplador óptica.

Fuente: El Autor

Niveles de potencia para amplificadores y estaciones, en la ventana mostrada por la figura 3.22 se ingresan los valores de sensibilidad y máxima potencia en la red.



Figura 3. 22: Parámetros de red.

Fuente: El Autor

Ventana de estandarización, PDS procura que las variables de la red sean consecuentes con las recomendaciones UIT-T, específicamente con las consignadas en la referencia UIT G.139, por lo que se ha incluido un módulo de detección para indicar al diseñador los valores que se encuentren por fuera del estándar internacional. Por ejemplo si ingresamos una ganancia máxima en pequeña señal de 26 dB para los amplificadores ópticos, se despliega la ventana mostrada por la figura 3.23.



Figura 3. 23: Ventana de estandarización.

Fuente: El Autor

El usuario puede modificar los parámetros al presionar el botón corregir o dejarlos como están presionado seguir. El software permitirá el proceso de investigación al conceder al diseñador el trabajar por fuera de las recomendaciones UIT. Es oportuno recordar parámetros típicos sugeridos en la referencia UIT G.139. El programa también dispone de una rápida ayuda para los diseñadores, cada ventana para el ingreso de parámetros cuenta con una pequeña caja de chequeo para restablecer los valores típicos de redes PON.



Figura 3. 24: Restablecimiento de valores.

Fuente: El Autor

3.4. PROBLEMAS EN EL DISEÑO DE UNA PON EN PDS

Debemos tener en cuenta los problemas que se pueden presentar antes de realizar la simulación de una PON, cuando una red no sea viable, es decir, no es posible implementarse de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por el diseñador(a) del sistema, el programa notificará inmediatamente, señalando el problema detectado, el origen del mismo en la red y el tipo de enlace, tal y como se muestra en figura 3.25 la notificación para una red inviable.



Figura 3. 25: Problema de una red inviable.

Fuente: El Autor

La inteligencia del programa Pon Design Software, permite indicar al usuario las posibles soluciones a los inconvenientes presentes en el diseño, para acceder a esta poderosa aplicación, se debe hacer click en el botón ayuda de la ventana de notificación, se abrirá entonces una ventana alternativa de opciones, como se muestra en la figura 3.26.



Figura 3. 26: Notificación del problema detectado en una PON.

Fuente: El Autor

Existen dos opciones para superar el inconveniente:

- a) Aumentar el nivel máximo de potencia en la red a un valor superior a 52,5530 dBm.
- b) Disminuir el nivel de sensibilidad hasta un valor menor a -112,55 dBm.

De esta forma el diseñador(a) podrá atender a las soluciones sugeridas y tomar la decisión apropiada, ya sea la de modificar el diseño de la red, o por el contrario seguir con el diseño pero modificando los parámetros de transmisión. El diseñador (a) opta por esta última alternativa.

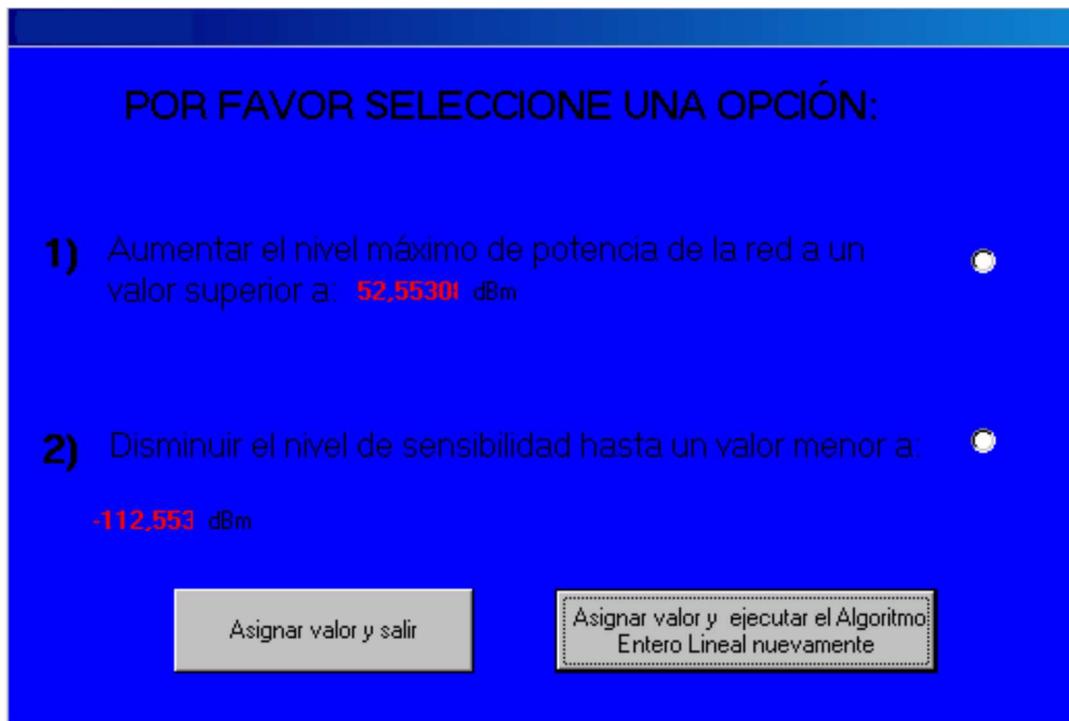


Figura 3. 27: Opción para posible solución de una PON.

Fuente: El Autor

Así, PDS volverá a ejecutar el proceso de solución para la red diseñada, el mismo que se explicará en el acápite 3.6.

3.5. ALGORITMO ENTERO LINEAL Y UBICACIÓN DE AMPLIFICADORES EN UNA RED VIABLE.

Cuando el diseño es factible, es posible ubicar los amplificadores en la PON. El software PDS hace uso de sus algoritmos entero lineal y de ubicación de amplificadores (ver figura 3.28), posteriormente se mostrará los resultados obtenidos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

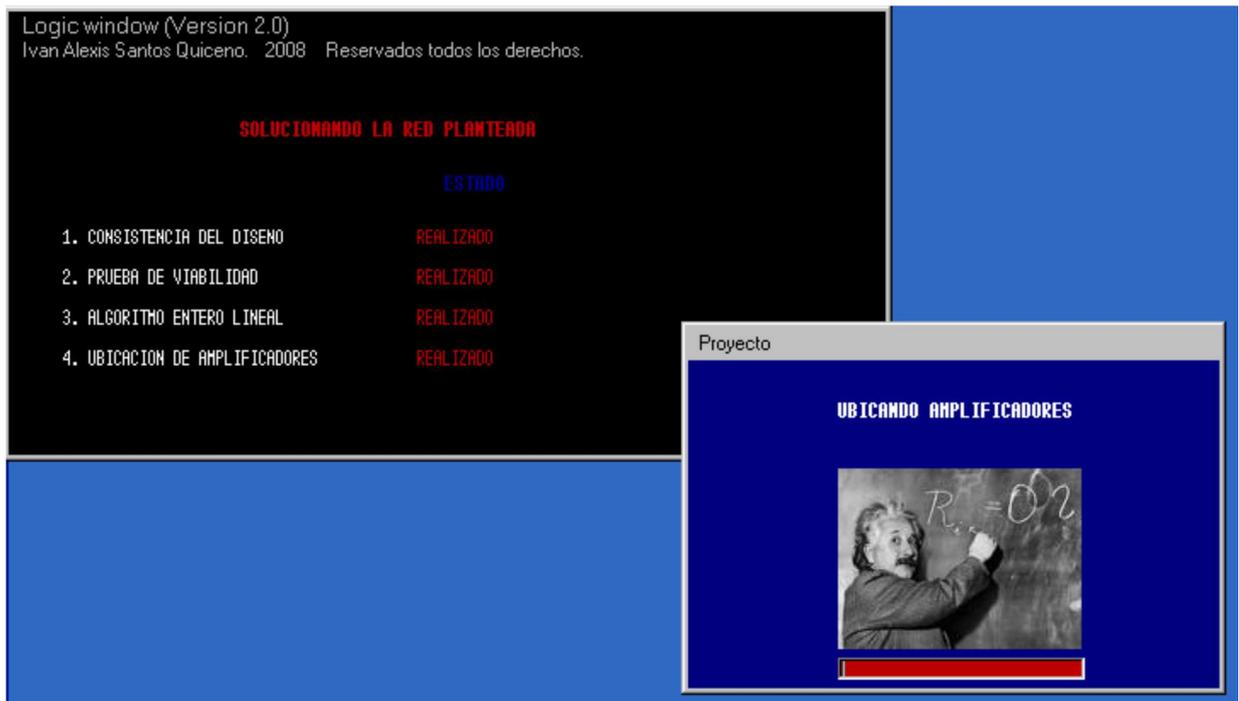


Figura 3. 28: Ventana de ubicación de amplificadores.

Fuente: El Autor

3.6. REPORTE DE RESULTADOS EN HOJA DE CÁLCULO

El software PDS generará eventualmente el reporte de la solución de la PON en una hoja de datos de Microsoft Office Excel, tal y como se muestra en la figura 3.29.

El informe consta de cuatro secciones principales, las cuales son:

1. Parámetros de los dispositivos.
2. Resultados de los enlaces entre estrellas.
3. Resultados de los enlaces de acceso.
4. Potencias de salida de las estrellas ópticas.

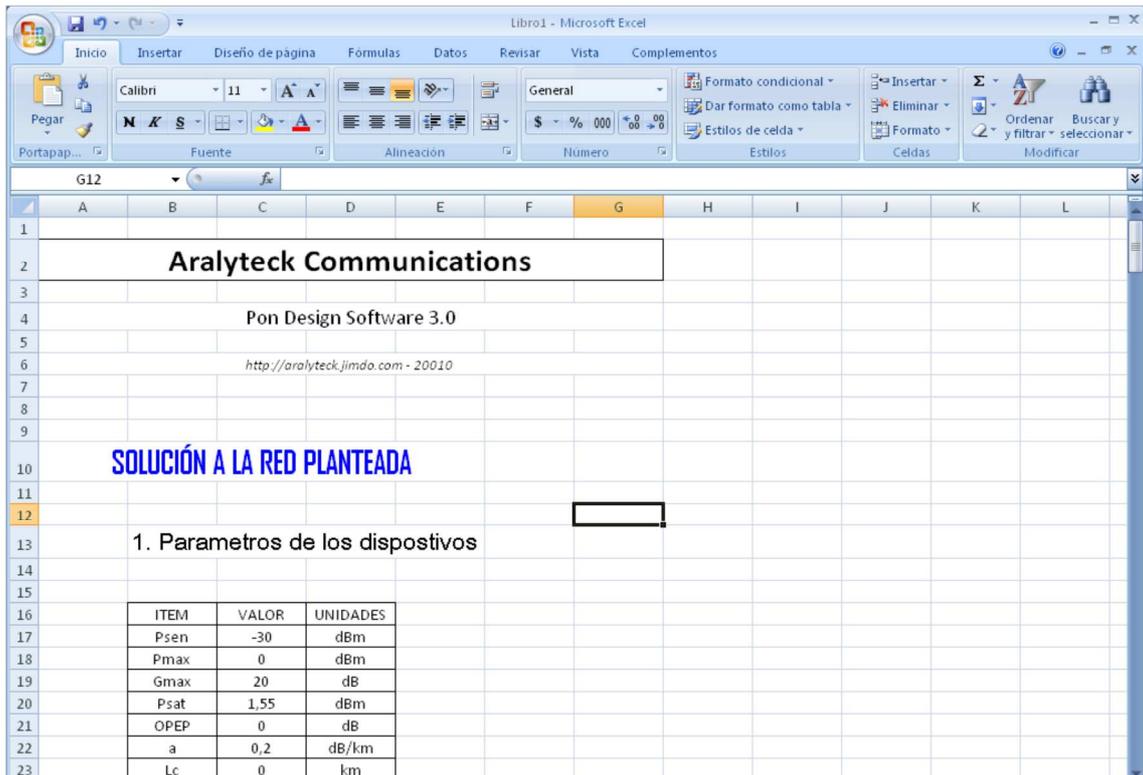


Figura 3. 29: Reporte de resultados de una PON

Fuente: El Autor.

3.6.1. PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS.

En la hoja de cálculo se genera la tabla 3.3, en el que se muestran los valores asignados por los diseñadores.

Tabla 3. 3: Reporte de parámetros de dispositivos

ITEM	VALOR	UNIDADES
Psen	-30	dBm
Pmax	0	dBm
Gmax	20	dB
Psat	1,55	dBm
OPEP	0	dB
a	0,2	dB/km
Lc	0	km
PNONLINM		
AX	10	dBm
nc	2	
ac	0,15	dB
ae	0,1	dB
fop	0	dB/km

Fuente: El Autor

3.6.2. RESULTADOS DE LOS ENLACES ENTRE ESTRELLAS.

En el presente acápite se muestra la cantidad de amplificadores en cada enlace entre estrellas de la red y la ubicación de cada uno de los amplificadores. Obsérvese la tabla 3.4, el resultado del enlace en la dirección estrella 2 a estrella 1:

Tabla 3. 4: Reporte de enlaces entre estrellas ópticas.

Estrella No	a	Estrella No
2		1
Distancia(km)	100	
#Amplificadores	2	
Amplificador No	1	2
Distancia respecto a la estrella (km)	28,09	96,4165772
Ganancia del amplificador (dB)	13,6653154	14,382

Fuente: El Autor

En la tabla 3.4 se muestra básicamente dos tablas. En la primera de ellas se muestra la distancia del enlace y la cantidad de amplificadores del mismo; la segunda tabla es más específica, visualiza la distancia respecto de la estrella 2 de cada amplificador y su ganancia.

3.6.3. RESULTADOS DE LOS ENLACES DE ACCESO.

En esta parte se encuentra la solución de los enlaces entre las estaciones ópticas y los acopladores pasivos en cada dirección. La estructura es similar a la anterior. Obsérvese el resultado (ver tabla 3.5) de los enlaces entre la estrella 1 y el grupo de estaciones 1. Primero se reporta la solución en la dirección estrella-grupo de estaciones y después de la forma opuesta. La presentación de los resultados se interpreta de la misma forma que en los enlaces estrellas.

Tabla 3. 5: Reporte de enlaces estación-estrella

Estrella No	a	Grupo de estaciones No
1		1
Distancia(km)	20	
#Amplificadores/enlace	1	
#Enlaces	20	
Amplificador No	1	
Distancia respecto a la estrella (km)	3,27507744	
Ganancia del amplificador (dB)	3,34498451	
Grupo de estaciones No	a	Estrella No
1		1
Distancia(km)	20	
#Amplificadores/enlace	0	
#Enlaces	20	

Fuente: El Autor

Simplemente se incluye una casilla en las tablas, número de enlaces para indicar el número de estaciones que tiene cada grupo de estaciones, para este caso se requiere de 1 amplificador por enlace, como son 20 estaciones se requerirá un total de 20 amplificadores para los enlaces entre la estrella 1 y el grupo de estaciones. En la parte final de esta tercera sección se visualiza el resultado del Algoritmo Entero Lineal, el objetivo de diseño de las redes ópticas pasivas.

3.6.4. POTENCIAS DE SALIDA DE LAS ESTRELLAS ÓPTICAS.

Es de gran utilidad conocer la potencia de salida en cada acoplador óptico, estos resultados son la simulación del comportamiento de la red y de su presupuesto de potencia. En la última sección del informe se reportan estas magnitudes como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6: Reporte de potencias de salidas de onda en las estrellas ópticas.

Estrella No.	1	2	3	4
Potencia(dB m)	-29,3449845	-24,382	-28,573325	-29,9122608

Fuente: El Autor.

El estudiante o lector deberá comparar los resultados del programa de diseño del software PDS con los de la solución de la red clásica tomada como ejemplo, podrá evidenciar su potencial y precisión.

3.7. MÓDULO DE ANÁLISIS ESPECTRAL

Al finalizar el modulo de diseño de red el usuario tendrá la posibilidad de acceder al modulo de análisis espectral, lo que permitirá observar el funcionamiento de la red con la solución dada, a nivel de ancho de banda. Haciendo un click en el botón aceptar el usuario activará todos los recursos del modulo (ver figura 3.30).

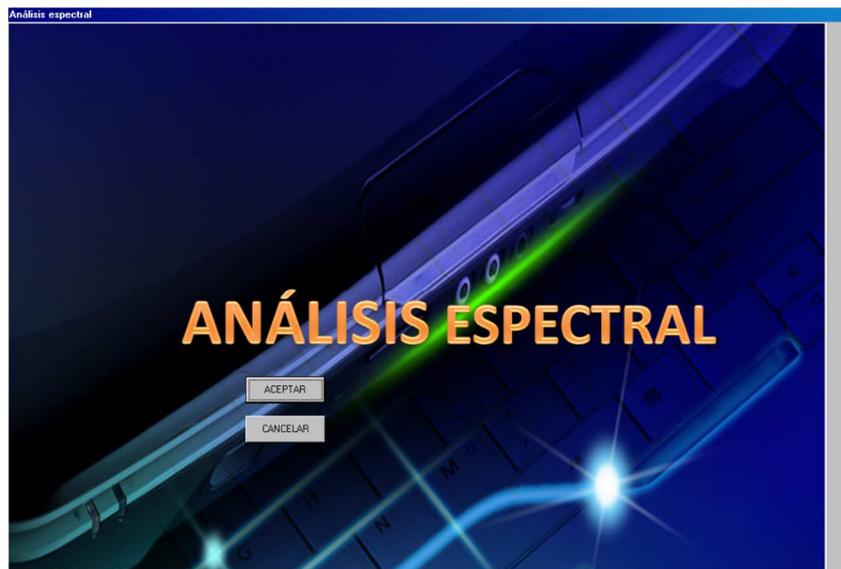


Figura 3. 30: Ventana inicial del análisis espectral.

Fuente: El Autor

➤ **Iniciando el módulo de análisis espectral**

Al igual que en modulo de diseño de red, el diseñador debe ingresar los valores de los parámetros que permitirán estudiar el comportamiento de la red, tal y como se muestra en la figura 3.31.

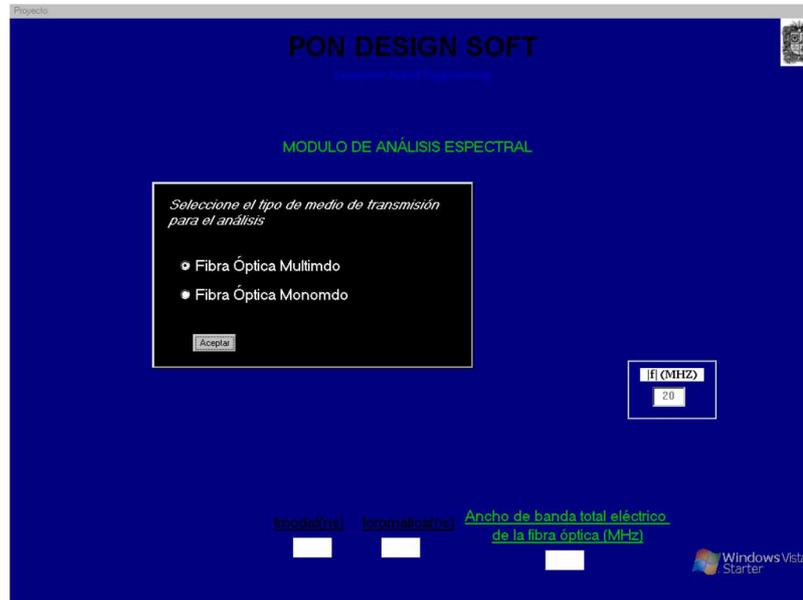


Figura 3. 31: Módulo de análisis espectral.

Fuente: El Autor

En la figura 3.31 se activarán secuencialmente las ventanas para el ingreso de valores. Debido a que ya se desarrolló la teoría del cálculo del ancho de banda en la fibra óptica, suponemos que existe dominio del tema por parte del lector o estudiante de sistemas de comunicaciones ópticas.

➤ **Selección del tipo de fibra óptica**

El diseñador elegirá una de las clasificaciones de los modos de propagación (ver figura 3.32) en la fibra óptica. Debe recordarse que el ancho de banda en la fibra óptica depende de la distancia del enlace y de un tiempo de subida total de la fibra óptica, el cual varía de acuerdo a la naturaleza de este medio de transmisión.

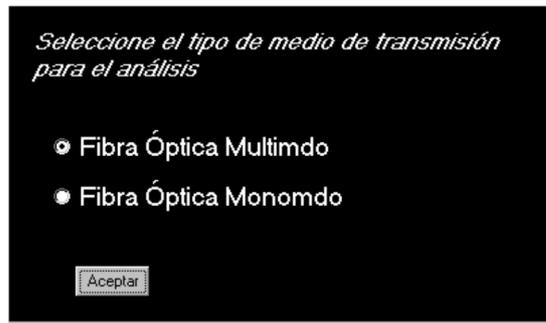


Figura 3. 32: Selección del tipo de fibra óptica.

Fuente: El Autor

➤ **Especificaciones de la fibra óptica**

En la figura 3.33 se muestra la ventana donde ingresaremos dependiendo de la fibra seleccionada, el ancho de banda modal, la dispersión cromática y el valor gamma.

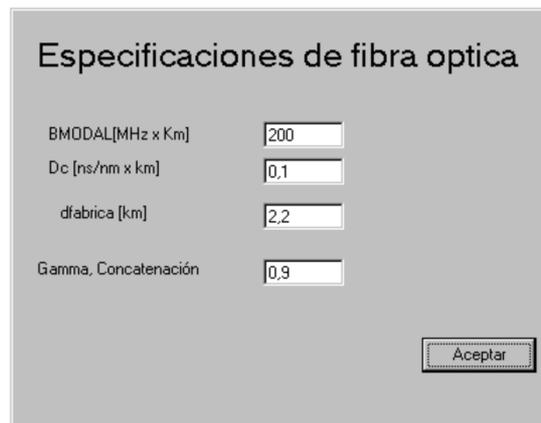


Figura 3. 33: Especificaciones de la fibra óptica.

Fuente: El Autor

➤ **Especificaciones de equipo óptico**

En la figura 3.34 se ingresan los valores de: la velocidad del equipo transmisor (estaciones), la anchura espectral del generador de luz, el tiempo de subida del generador de luz, el tiempo de subida del detector de luz, la longitud de onda de trabajo y el índice de refracción de la fibra óptica.

Especificaciones de equipo óptico

R [Mbps]	<input type="text" value="10"/>	
Δ [nm]	<input type="text" value="20"/>	
TGL [ns]	<input type="text" value="15"/>	
TDL [ns]	<input type="text" value="23"/>	
λ [nm]	<input type="text" value="1310"/>	
OTRO		<input type="button" value="Aceptar"/>
n	<input type="text" value="1.48"/>	

Figura 3. 34: Especificaciones de equipamiento óptico.

Fuente: El Autor

De acuerdo a la figura 3.31 y después de ingresar los valores para el análisis espectral se inicializará la siguiente pantalla mostrada en la figura 3.35.

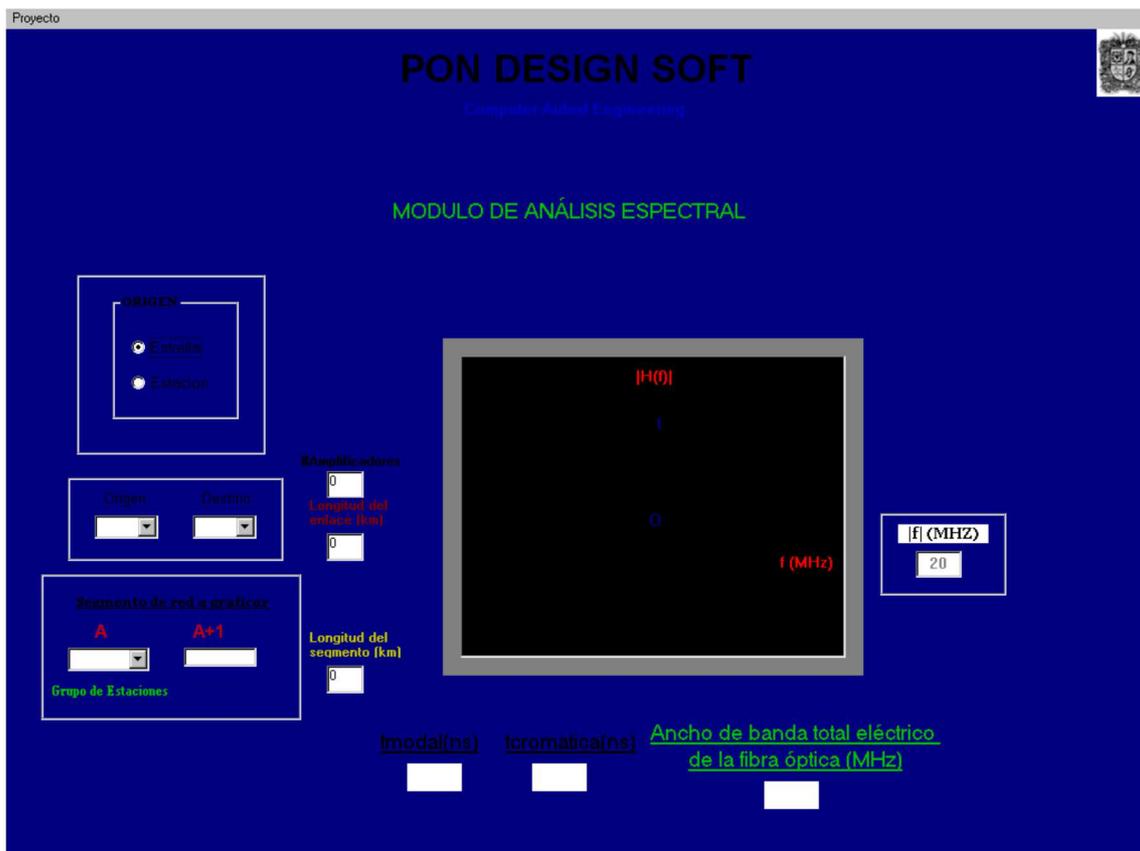


Figura 3. 35: Ventana principal de módulo de análisis espectral.

Fuente: El Autor

En primer lugar el usuario seleccionará el dispositivo origen del enlace a analizar, en la figura 3.36 se puede elegir entre una estrella óptica y un grupo de estaciones.

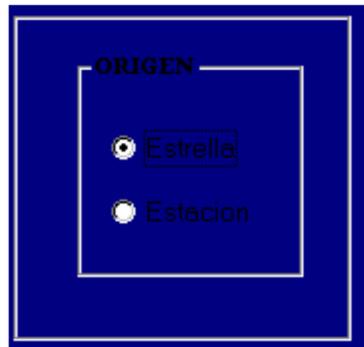


Figura 3. 36: Selección de dispositivo origen.
Fuente: El Autor

El sistema identificará inmediatamente a todas las estrellas o grupo de estaciones del diseño, habilitándolos para poder seleccionadas en el segundo cuadro. El siguiente paso debe ser la elección del número del dispositivo origen ya sea estrella o grupo de estaciones. Supóngase que se desea analizar el enlace entre la estrella 1 y la estrella 2. En cuyo caso se procede de acuerdo a la figura 3.37.



Figura 3. 37: Selección de dispositivo de destino.
Fuente: El Autor

El programa muestra la distancia entre las estrellas (100 km) y los amplificadores del enlace en esa dirección (2). Mediante la siguiente figura 3.38, podemos evidenciar la situación:

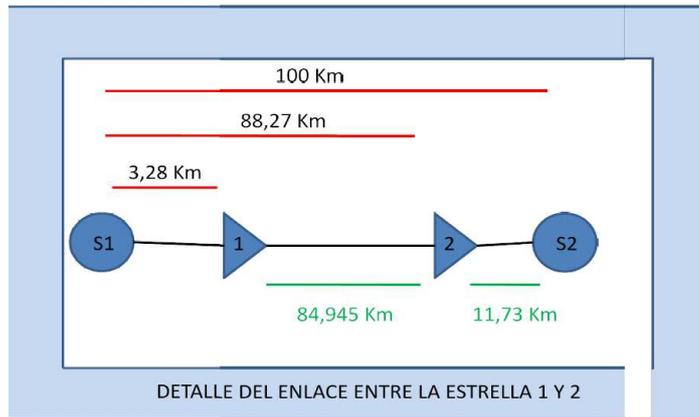


Figura 3. 38: Valores de distancia para el enlace S1-S2.

Fuente: El Autor

A continuación se debe elegir el segmento a graficar que puede ser entre la estrella 1 y el amplificador1; entre el amplificador 1 y el amplificador 2; entre el amplificador 2 y la estrella 2. Sí se elige el segmento del amplificador 2 a la estrella 2, solo se debe seleccionar el número 2 en la lista del ítem A, el programa automáticamente identificará el dispositivo siguiente (A+1) en este caso S2, como se muestra en la figura 3.39.

Segmento de red a graficar

A: 2 (Amplificador)

A+1: S2

Longitud del segmento (km): 11,77

Figura 3. 39: Selección de segmento a graficar.

Fuente: El Autor

Seguidamente el programa realizará la gráfica del espectro de amplitud (ver figura 3.40) contra la frecuencia e indicará el ancho de banda total eléctrico del enlace.

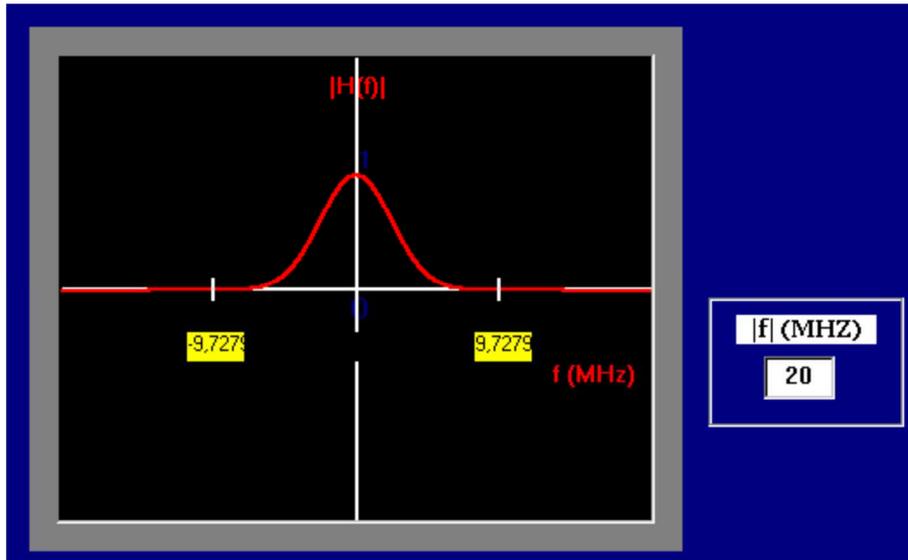


Figura 3. 40: Espectro de amplitud

Fuente: El Autor

El valor absoluto de la frecuencia se puede reasignar en el cuadro 4, para observar de diferentes formas la grafica. Se puede trabajar en rango de 1MHz hasta 999MHz.

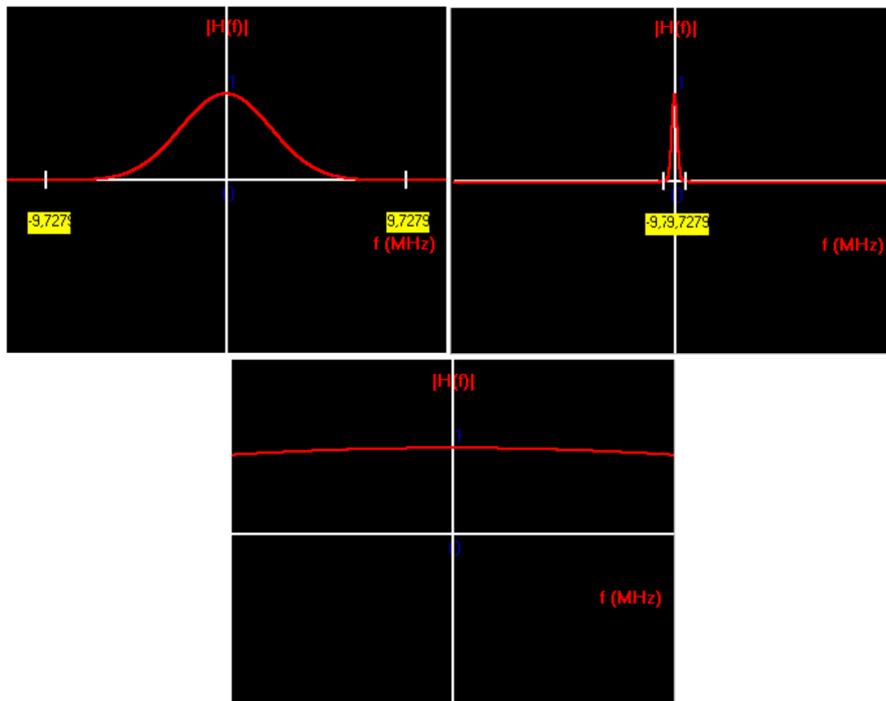


Figura 3. 41: Efectos de la modificación de valor absoluto de frecuencia.

Fuente: El Autor

Finalmente se incluyen los resultados de los cálculos en la parte inferior de la pantalla. Los tiempos de subida para la dispersión modal y cromática y el ancho de banda total eléctrico de la fibra óptica en ese enlace.

<u>tmodal(ns)</u>	<u>tcromatica(ns)</u>	<u>Ancho de banda total eléctrico de la fibra óptica (MHz)</u>
27,198	23,552	9,7279

Figura 3. 42: Soluciones numéricas para el ancho de banda de la fibra.

Fuente: El Autor

3.8. OTRAS UTILIDADES DE PDS

El software contiene las opciones para crear un nuevo diseño, abrir una red existente, guardar el diseño actual y consultar la página de internet del software, en la figura 3.43 se muestra las utilidades adicionales de PDS.



Figura 3. 43: Otras utilidades de PDS.

Fuente: El Autor

CAPÍTULO 4: DESARROLLO EXPERIMENTAL CON PON DESIGN SOFTWARE

En el presente capítulo se pretende poner en práctica el software PDS para diseño de redes PON, que pretende ser de gran ayuda en la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica dentro de la malla curricular de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones con mención en Gestión Empresarial en Telecomunicaciones. En la figura 4.1 se muestra una ventana donde se indica que el software es la versión profesional y que es para uso exclusivo en el desarrollo del presente proyecto de graduación.

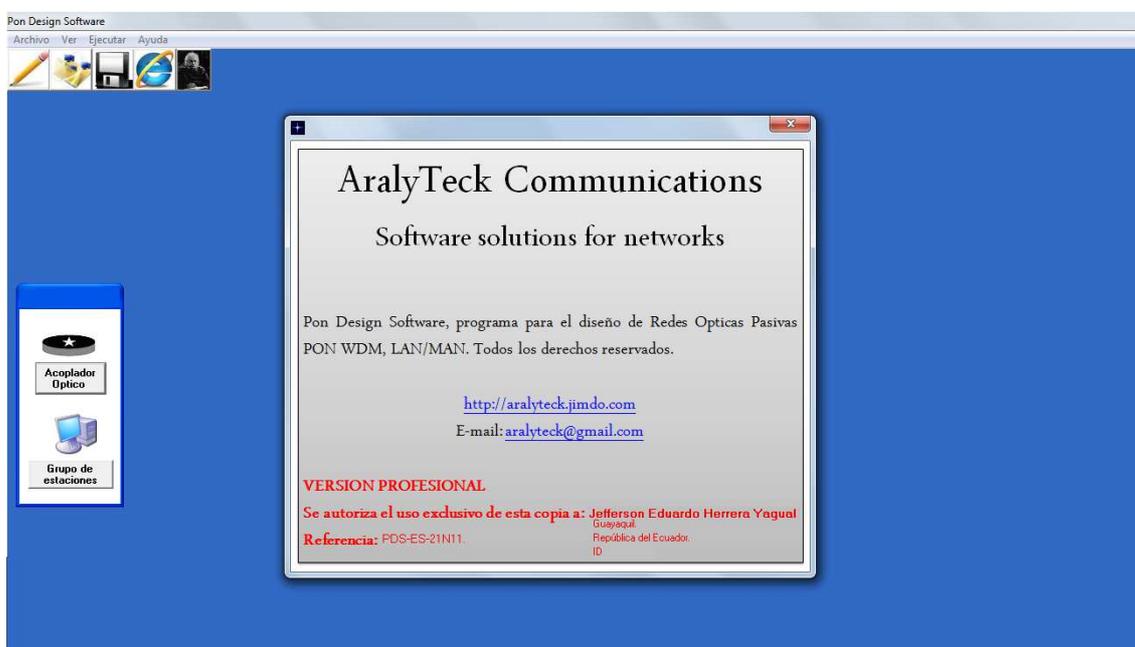


Figura 4. 1: Versión profesional de PON DESIGN SOFTWARE

Fuente: El Autor

4.1. EVALUACIÓN PRÁCTICA DE UNA RED PASIVA ÓPTICA (PON) PARA COMUNICACIÓN ENTRE 4 CIUDADES.

En la presente simulación evaluaremos el diseño de la red PON entre cuatro ciudades importantes del Ecuador como Guayaquil, Santa Elena, Manta y Cuenca tal y como se muestra en la figura 4.2 donde la herramienta de Google Earth nos permite conocer con exactitud las distancias entre las ciudades mencionadas mediante las coordenadas de posición tanto latitud como longitud.

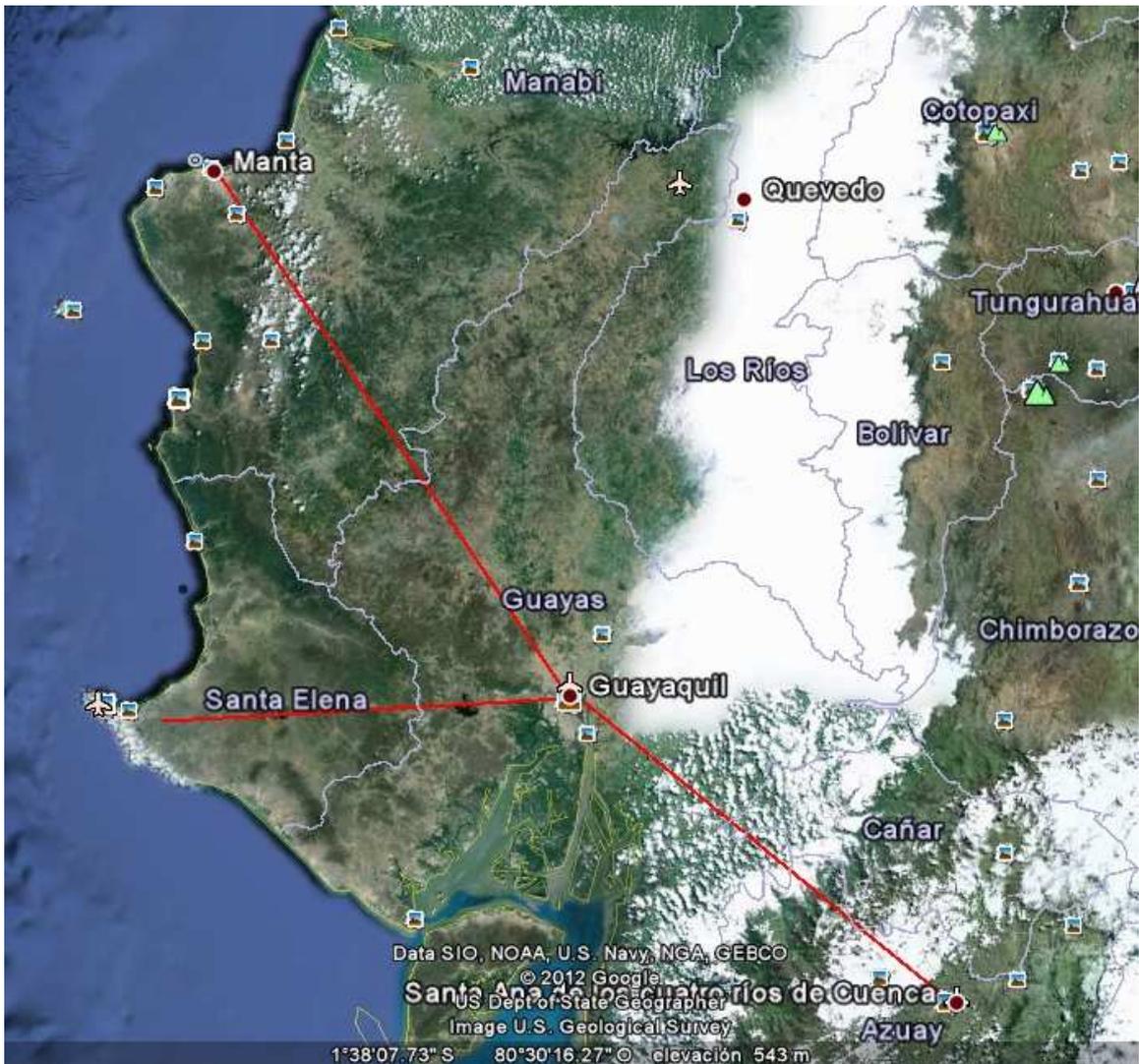


Figura 4. 2: Vista de los enlaces por F.O. a través del google Hearth.

Fuente: El Autor

En la figura 4.3 se detallan las distancias entre las cuatro ciudades a enlazarse mediante los anillos de fibra óptica, así como las distancias entre las ciudades y estaciones de trabajo. Dichos enlaces inician en la ciudad de Guayaquil hasta Manta, Santa Elena y Cuenca, que distan 165 km, 106,5 km y 127 km respectivamente. Como se describió en el capítulo 2, el tipo de fibra a emplearse en la presente simulación debe ser una fibra SM (monomodo) que opera a grandes distancias.

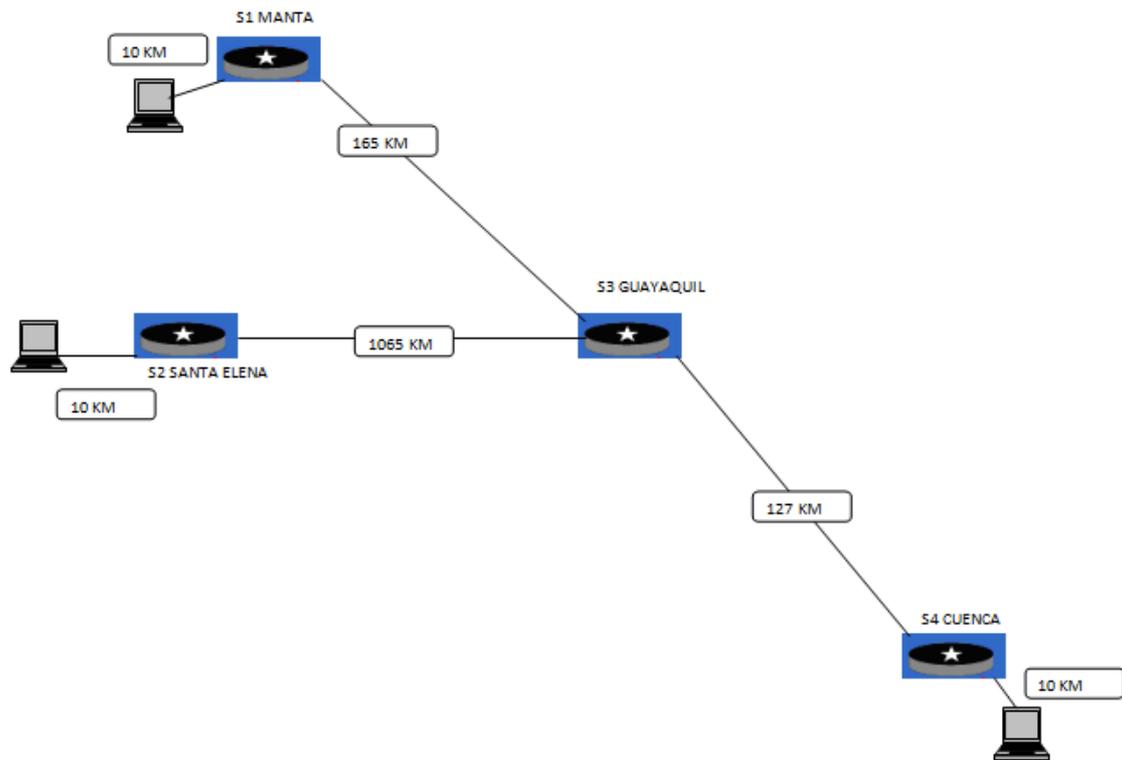


Figura 4. 3: Diagrama de bloques del enlace mediante F.O.

Fuente: El Autor

4.2. Diseño en PDS para una PON.

Una vez que se ha bosquejado mediante el diagrama de bloques de la red PON propuesta, procederemos al diseño mediante la plataforma o herramienta de simulación PDS. Empezamos ejecutando el programa PDS, después seleccionamos el icono **Acoplador Óptico** (estrella), que representarían a la red óptica de las ciudades que forman parte de está red PON; posteriormente seleccionamos el icono **Grupo de estaciones** que nos permite interconectar n estaciones a determinada ciudad, tal como se muestra en la figura 4.4.

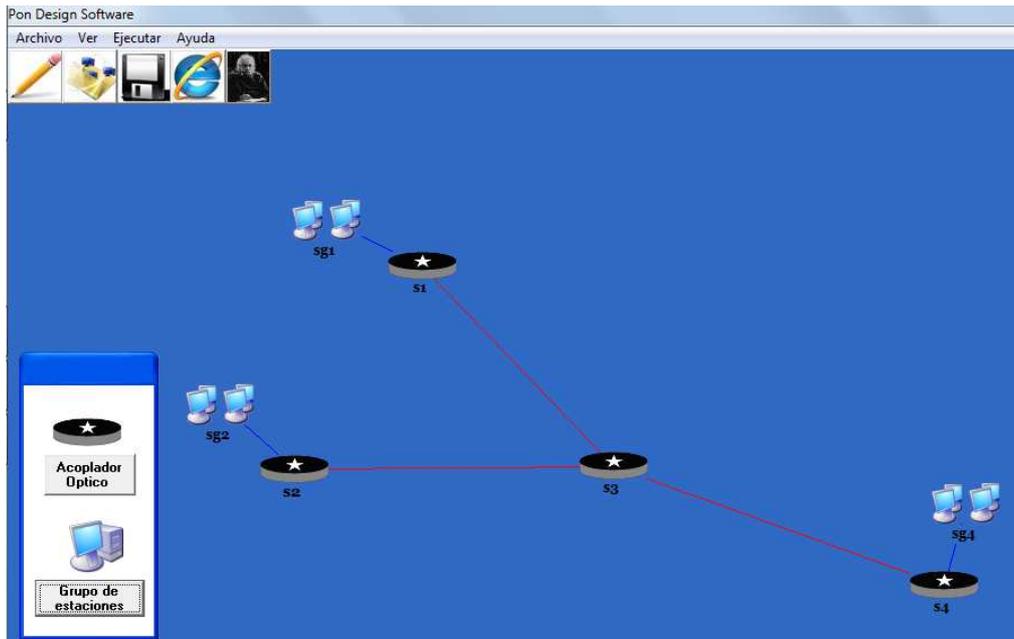


Figura 4. 4: Diseño de la red en la herramienta de simulación PDS.

Fuente: El Autor

4.3. Ejecución en PDS para la PON propuesta.

Ahora seleccionamos **Ejecutar** en la barra de herramientas y escogemos la opción **Solución de Red** como se muestra en la figura 4.5. Si no encuentra problemas en el diseño el mismo podrá simular sin inconvenientes la red PON.

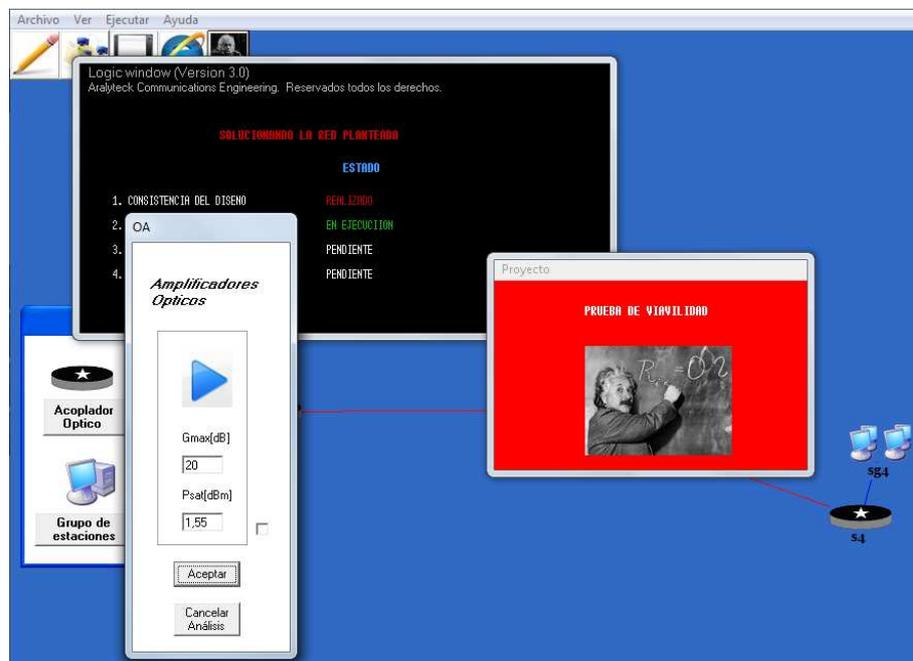


Figura 4. 5: Ejecución de la solución de red propuesta.

Fuente: El Autor

Para la solución de la red, la plataforma PDS ejecuta la simulación en cuatro pasos:

1. **Consistencia del diseño**, como ya se indicó si hay problemas de consistencia en el diseño de la red para lo cual no existe solución. Al finalizar dicho análisis se muestra la ganancia $G_{m\acute{a}x} = 20 \text{ dB}$ y potencia $P_{sat} = 1,55 \text{ dB}$ de los amplificadores, ilustrada en la figura 4.5. Después de visualizar dichos valores damos click en **aceptar** e inmediatamente pasamos al segundo paso;
2. **Prueba de viabilidad**, se encarga de ejecutar la solución de la red propuesta la cual permite observar las propiedades de la fibra óptica (ver figura 4.6), otras pérdidas en el acoplador óptico y otras pérdidas consideradas universales.



Figura 4. 6: Ejecución de la solución de red propuesta.

Fuente: El Autor

En la figura 4.7 se visualiza al acoplador óptico donde aparece un parámetro para ingresar otro tipo de pérdidas que se pueden dar en enlace de una PON. Para el caso particular colocamos 5 dB que se asumen por atenuaciones en conectores.



Figura 4. 7: Ejecución de la solución de red propuesta.

Fuente: El Autor

También se deben considerar otros tipos de pérdidas consideradas universales para cualquier tipo de enlace óptico que se muestra en la figura 4.8. Véase en el Anexo A los resultados obtenido en una hoja de Excel.

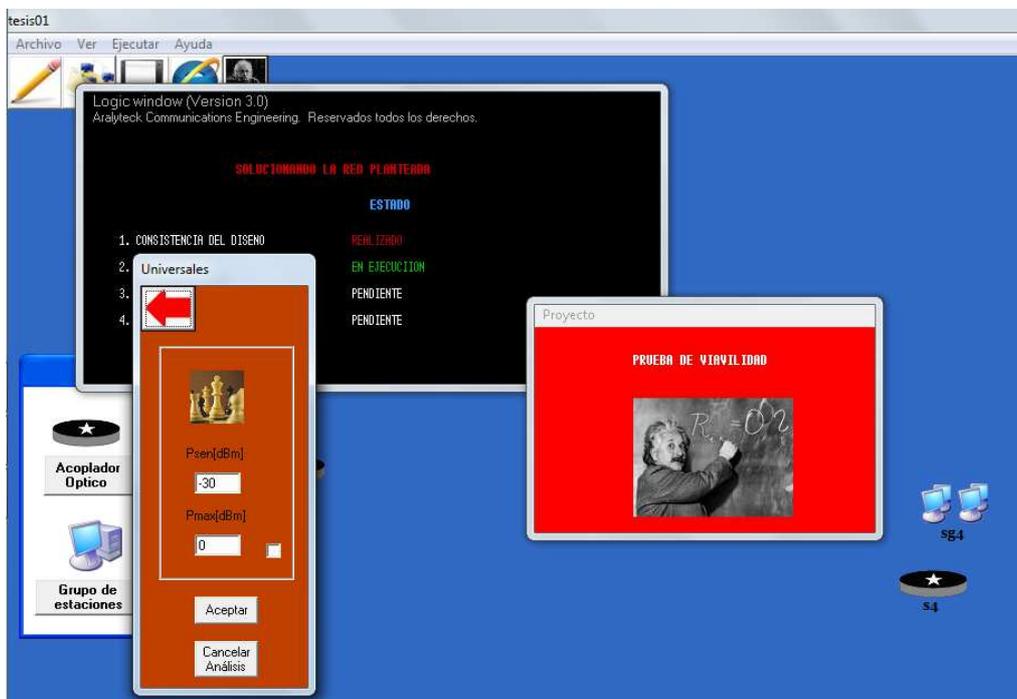


Figura 4. 8: Ejecución de la solución de red propuesta.

Fuente: El Autor

4.4. Módulo de análisis espectral para la PON propuesta.

Al terminar la prueba de viabilidad de la PON sin ningún tipo de inconveniente, inmediatamente se muestra la ventana de simulación del módulo de análisis espectral, posterior a esto se debe seleccionar el medio de transmisión, que dependiendo de la distancia pueden ser fibra MM o fibra SM (ver figura 4.9).

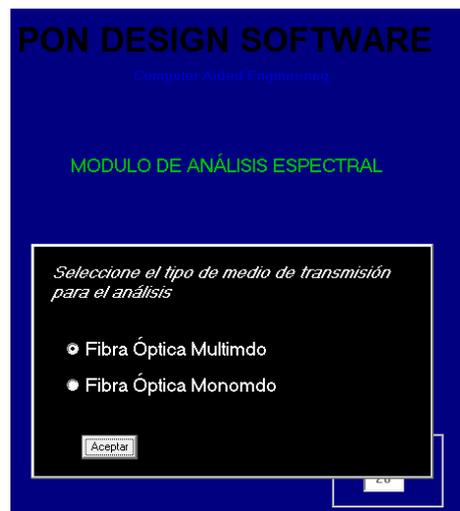


Figura 4. 9: Tipo de medio de transmisión para el análisis espectral.

Fuente: El Autor

De la figura 4.9 seleccionamos el medio de transmisión de la fibra SM, inmediatamente se visualizan las especificaciones de la fibra óptica y las especificaciones del equipo óptico como se muestra en las figuras 4.10 y 4.11 respectivamente.

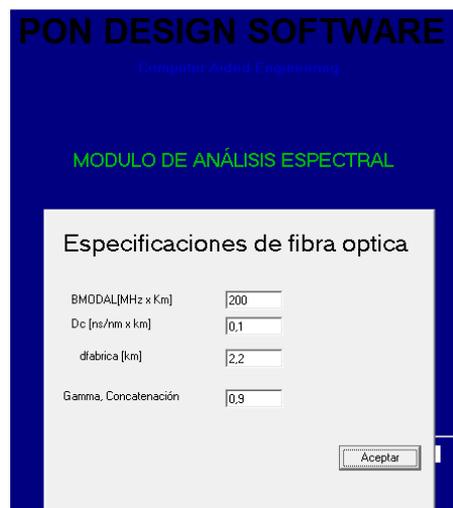


Figura 4. 10: Especificaciones de la fibra óptica.

Fuente: El Autor



Figura 4. 11: Especificaciones del equipo óptico.

Fuente: El Autor

Una vez dadas las especificaciones de la fibra óptica y del equipo óptico, en la figura 4.12 se muestra el análisis espectral de la red propuesta donde observaremos el comportamiento espectral para la comunicación entre ciudades, y estaciones a ciudades que se interpretan como centrales.

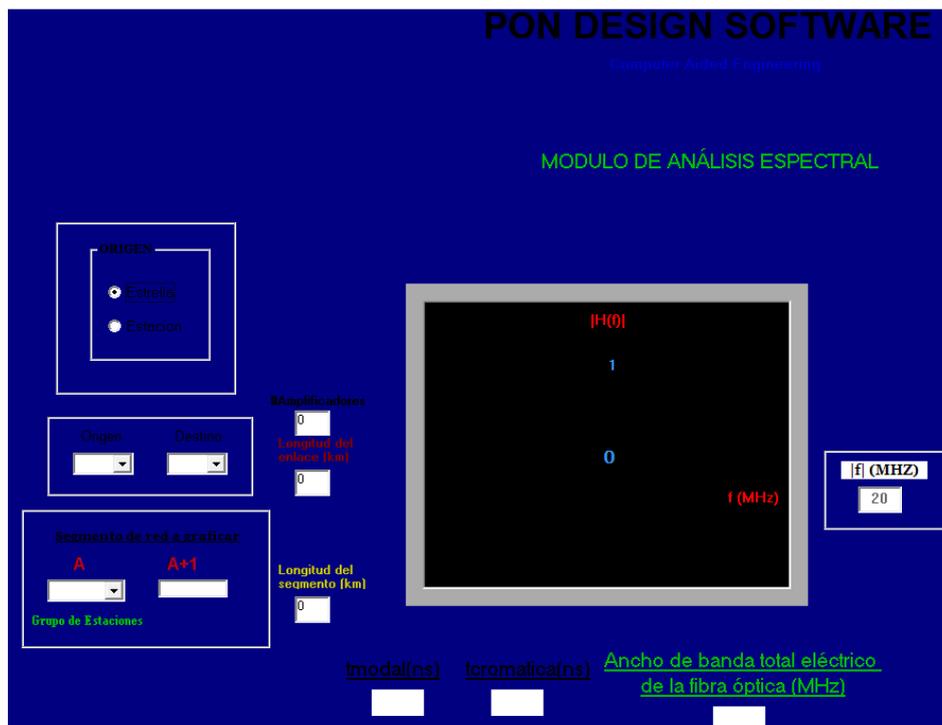


Figura 4. 12: Módulo de simulación espectral para una PON.

Fuente: El Autor

En la figura 4.12 podemos simular el comportamiento de la PON propuesta, desde el origen de la estrella óptica (Guayaquil) hacia los destinos correspondientes, es decir a las otras estrellas ópticas (Manta, Santa Elena y Cuenca), así como también el análisis entre las estaciones (centrales en las ciudades) hacia cada estrella óptica (ciudades).

Una vez que definimos que parte analizar de la red debemos definir el segmento de la red a graficar el espectro, en la misma podemos observar el comportamiento de la estrella óptica y de cada uno de los amplificadores ópticos que forman parte del diseño. Al seleccionar el origen y destino se mostrará el número de amplificadores y la longitud del enlace entre dos ciudades.

En la figura 4.13 se muestra el análisis espectral entre las estrellas ópticas de Guayaquil (S3) y Manta (S1), donde podemos observar que hay 2 amplificadores ópticos para una longitud de enlace de 165 km. Se puede observar que el tiempo de dispersión cromática en una fibra SM es 194,65 ns y que el ancho de banda eléctrico total de la fibra SM es 1,798 MHz.

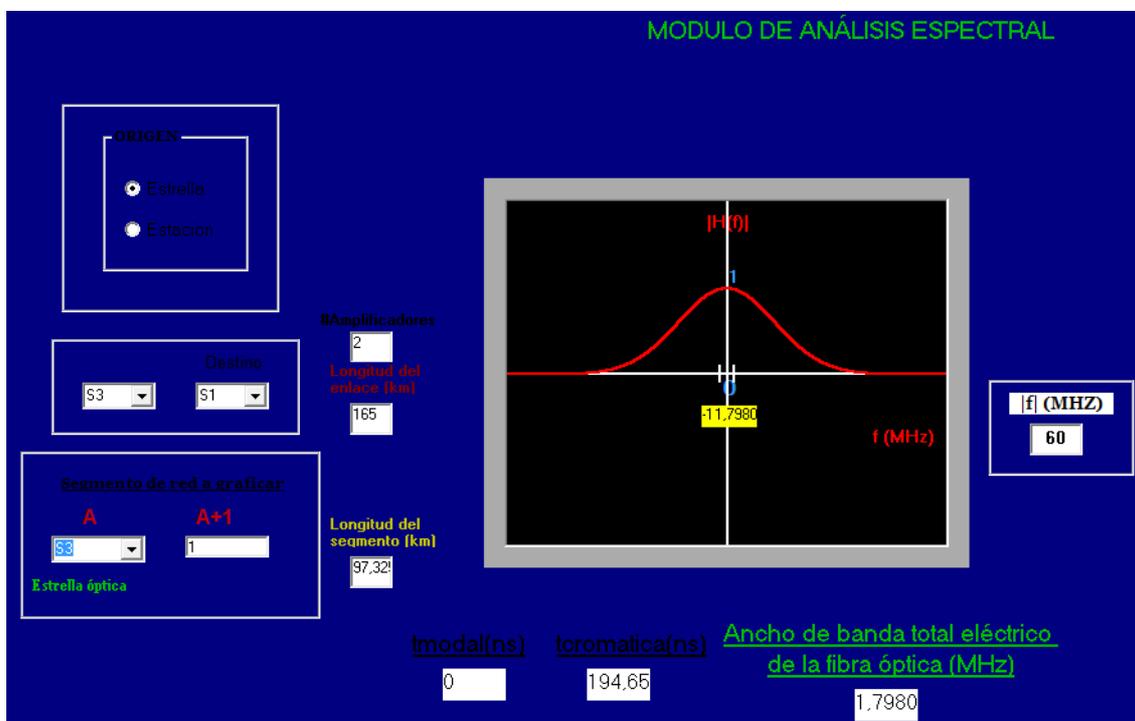


Figura 4. 13: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S1.

Fuente: El Autor

El siguiente análisis espectral es entre las estrellas ópticas de Guayaquil (S3) y Santa Elena (S2), como se muestra en la figura 4.14 donde solo se requiere 1 amplificador óptico para un enlace de 165 km de longitud. Se puede observar que el tiempo de dispersión cromática en una fibra SM es 194,65 ns y que el ancho de banda eléctrico total de la fibra SM es 1,798 MHz desde la ciudad de Guayaquil (S3) es el mismo para cada ciudad.

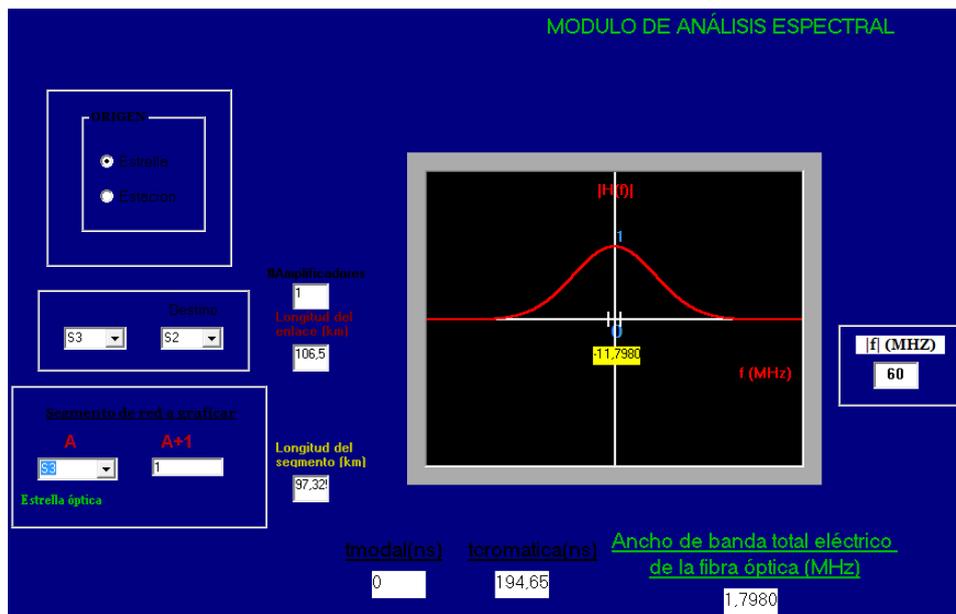


Figura 4. 14: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S2.

Fuente: El Autor

Y finalmente tenemos el análisis espectral (ver figura 4.15) entre las estrellas ópticas de Guayaquil (S3) y Cuenca (S4), para el cual solo se requiere 2 amplificadores ópticos para un enlace de 127 km de longitud. Se puede observar que el tiempo de dispersión cromática en una fibra SM es 194,65 ns y que el ancho de banda eléctrico total de la fibra SM es 1,798 MHz desde la ciudad de Guayaquil (S3) es el mismo para cada ciudad.

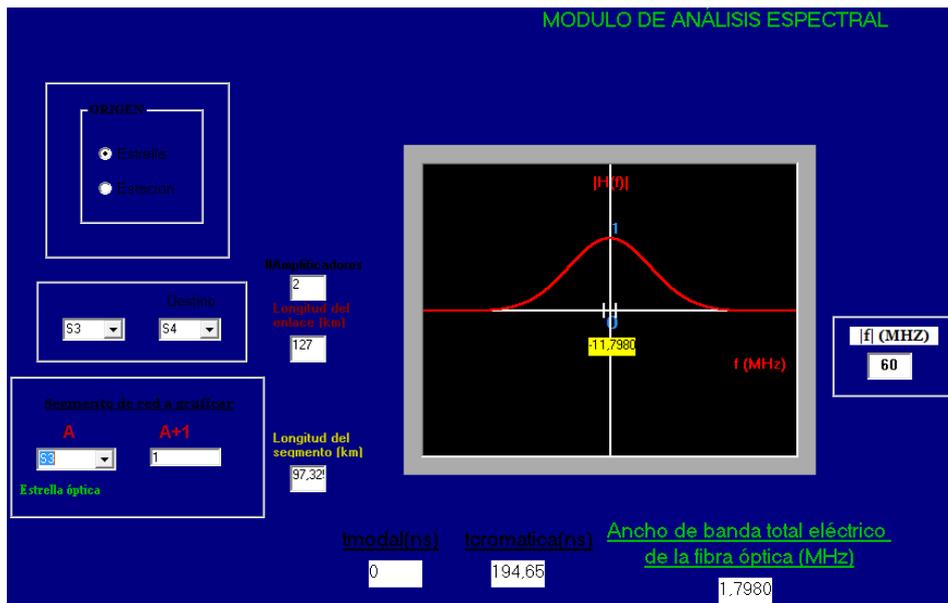


Figura 4. 15: Análisis espectral entre las estrellas ópticas S3 y S4.

Fuente: El Autor

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En la fundamentación teórica se pudo establecer la importancia de los sistemas de comunicaciones ópticos y de los materiales necesarios, que al final servirán para la formación de los profesionales en Telecomunicaciones.
- Con el estudio de este Software se quiere alcanza un nivel académico elevado muy necesario sobre el uso de simulador en el diseño de redes en determinados modelos de sistemas de transmisión óptica y así afianzar los conceptos teóricos dictados a los estudiantes
- En el ejemplo del proyecto de tesis Software PON Design para el diseño de REDES OPTICAS PASIVAS WDM se aplicaron distancia reales, que mediante la herramienta Google Earth se pudo conocer la separación de cada estrella óptica, logrando que los resultados sean lo más preciso posible tomando como referencia ciudades principales y de mayor importancia del país.
- La herramienta de simulación PDS de gran utilidad para el diseño de redes ópticas pasivas y para los estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones de la FETD aplicable al medio actual de las telecomunicaciones y como instrumento de enseñanza en la materia Sistemas de Fibra Óptica.
- El mundo de las Telecomunicaciones avanza a pasos agigantados que en el medio actual se maneja un área muy competitiva en conocimientos y tecnología sobre todo el campo de las comunicaciones el Software PON Design para el diseño de REDES OPTICAS PASIVAS WDM que se deja a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil servirá para que el alumnado pueda realizar prácticas y proyectos que pueden ser aplicables en la vida real ya sean a nivel empresarial o grandes diseños que involucren ciudades o sectores urbanos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las clases impartidas en la asignatura de Sistemas de Fibra Óptica, este constituido de un 50% teórico y 50% práctico para el desarrollo de la materia, tomando en consideración la necesidad de que el estudiante pueda observar los resultados de todo lo estudiado en aula y poder ser aplicado como por ejemplo, en el simulador PON Design para el diseño de REDES OPTICAS PASIVAS WDM.
- Se recomienda que la Universidad Católica Santiago de Guayaquil invierta en este tipo de Software para uso de los laboratorios de telecomunicaciones, y que por lo menos se los instalen en 20 computadoras para impartir las practicas y tener un mejor entendiendo de la aplicación del mismo, este software permite aplicar todo tipo de diseño y estudiar las posibles mejoras o correcciones del proyecto que se aplique.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, C. A. (2006). *Análisis de la Tecnología IP sobre WDM*. Recuperado el 01 de 07 de 2012, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcig216a/doc/bmfcig216a.pdf>
- Martínez, C. (2009). Bases tecnológicas de la Telemedicina. (I) Redes de telecomunicación. PLC. Fibra Óptica. Satélites. *Reduca*, 80-97.
- Ramos, A. (2010). *Backbone de Fibra Óptica Metropolitana*. Obtenido de Universidad Veracruzana:
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29401/1/ARTURORAMOS.pdf>
- [1] Coimbra G. Edison, Curso Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. Recuperado el 10 mayo 2012: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>
- [2] Romano Carla, López Cecilia, Medición de la constante de Planck utilizando LEDs, Laboratorio 5 – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Recuperado el 10 mayo 2012: http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mod/panck_diodos_2k1.pdf
- [3] España B. María C. Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios. Ediciones Díaz de Santos, 2005.
- [4] Tomasi Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Pearson Educación, 2003.
- [5] Blake Roy, Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, 2da Edición. Cengage Learning Editores, 2004.
- [6] E. E. Bert Basch, Optical-Fiber Transmission, Howars W. Sams & Co., 1987
- [7] Thomas G. Giallorenzi, Optical Communications Research and Technology: Fiber Optics. Volumen 66 de la IEEE magazine, 7ma. Ed., 1978.

Anexo A

Aralyteck Communications

Pon Design Software 3.0

<http://aralyteck.jimdo.com>

SOLUCIÓN A LA RED PLANTEADA

1. Parámetros de los dispositivos

ITEM	VALOR	UNIDADES
Psen	-30	dBm
Pmax	0	dBm
Gmax	20	dB
Psat	1,55	dBm
OPEP	0	dB
a	0,2	dB/km
Lc	0	km
PNONLINMAX	10	dBm
nc	2	
ac	0,15	dB
ae	0,1	dB
fop	0	dB/km

2. Enlaces entre estrellas ópticas

2,1 Estrella No 1 a Estrella No 3

Distancia(km)	165
#Amplificadores	1

Amplificador No	1
Distancia respecto a la estrella (km)	134,9485002
Ganancia del amplificador (dB)	28,48559991

2,2 Estrella No 2 a Estrella No 3

Distancia(km)	106,5
#Amplificadores	1

Amplificador No	1
Distancia respecto a la estrella (km)	106,5
Ganancia del amplificador (dB)	16,78559991

2,3 Estrella No 3 a Estrella No 1

Distancia(km)	165
#Amplificadores	2

Amplificador No	1	2
Distancia respecto a la estrella (km)	97,325	165
Ganancia del amplificador (dB)	26,98970004	13,535

2,4 Estrella No 3 a Estrella No 2

Distancia(km)	106,5
#Amplificadores	1

Amplificador No	1
Distancia respecto a la estrella (km)	97,325
Ganancia del amplificador (dB)	28,82470004

2,5 Estrella No 3 a Estrella No 4

Distancia(km)	127
#Amplificadores	2

Amplificador No	1	2
Distancia respecto a la estrella (km)	97,325	127
Ganancia del amplificador (dB)	26,98970004	5,935

2,6 Estrella No 4 a Estrella No 3

Distancia(km)	127
#Amplificadores	1

Amplificador No	1
Distancia respecto a la estrella (km)	127
Ganancia del amplificador (dB)	20,88559991

3. ENLACES DE ACCESO

3,1 Estrella No 1 a Grupo de estaciones No 1

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

Grupo de estaciones
 No 1 a Estrella No 1

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

3,2 Estrella No 2 a Grupo de estaciones No 2

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

Grupo de estaciones
 No 2 a Estrella No 2

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

3,3 Estrella No 4 a Grupo de estaciones No 4

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

Grupo de estaciones

No

4

a

Estrella No

4

Distancia(km)	10
#Amplificadores/enlace	0
#Enlaces	1

Número total de amplificadores de la red = 8

4. POTENCIAS DE SALIDA DE LAS ESTRELLAS ÓPTICAS

Estrella No.	1	2	3	4
Potencia(dBm)	-3,010299957	3,010299957	-10,535	3,01029996