



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación

Simulación de enlace de fibra óptica en red EPON.

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Xavier Aníbal García Jácome
Jorge Juan Falconí Crow

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser guía en el diario caminar en esta vida dándonos salud y fuerza para continuar hacia el logro de nuestras metas.

A nuestros padres por ser fuente de apoyo, inspiración y soporte fundamental para nuestra formación ayudándonos en todo e inculcándonos nuevas metas para nuestro desarrollo profesional a futuro.

Al Ing. Germán Vargas por su guía a través del desarrollo de nuestro proyecto.

DEDICATORIA

A nuestros padres, los cuales nos han apoyado durante toda nuestra vida y han estado presente durante nuestra formación profesional.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. GERMAN VARGAS.

PROF. DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

ING.MARIA ANTONIETA ALVAREZ.

DELEGADO DEL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Jorge Juan Falconí Crow

Xavier Aníbal García Jácome

RESUMEN

El proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta que simula enlaces ópticos de una red pasiva Ethernet (EPON) sobre una topología árbol-rama implementada en la tesina “Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón”^[8], la cual está diseñada para la urbanización Plaza Madeira que carece de un proveedor de servicios multimedia que provea un ancho de banda suficiente para satisfacer las necesidades de sus habitantes.

La herramienta implementada en MATLAB es capaz de desarrollar un cálculo de presupuesto de ancho de banda, presupuesto de pérdidas de enlace, cálculo de pérdidas totales de los enlaces ópticos y mostrar un gráfico de potencia versus distancia mediante una herramienta de MATLAB llamada GUIDE, esta herramienta permite mostrar a los usuarios los valores calculados y el gráfico de pérdidas del enlace óptico.

La simulación se desarrolla sobre dos esquemas propuestos, que poseen componentes que obedecen al estándar IEEE 802.3ah (EPON) y de diferentes fabricantes, lo que nos permitirá conocer cómo van a reaccionar los enlaces ópticos frente a pérdidas generadas por empalmes, conectores, inserción y atenuación en la fibra óptica, además de conocer si es factible su implementación en la vida real dependiendo de los valores obtenidos en la simulación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1.1 REDES DE ACCESO AL MEDIO.....	1
1.1.2 REDES DE ACCESO INALÁMBRICAS.....	2
1.1.3 REDES DE ACCESO FÍSICAS	2
1.1.3.1 REDES DE ACCESO VÍA COBRE.....	3
1.1.3.2 REDES DE ACCESO VÍA CABLE COAXIAL.....	3
1.1.3.3 REDES DE ACCESO VÍA FIBRA ÓPTICA	4
1.1.3.4 REDES DE ACCESO HIBRIDAS (HFC).....	4
1.1.4 COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE REDES DE ACCESO FISICA.....	4
1.2.1 FIBRA ÓPTICA.....	5
1.2.2 FIBRA MULTIMODO.....	5
1.2.3 FIBRA MONOMODO.....	6
1.2.4 PROPIEDADES DE LA FIBRA ÓPTICA	7
1.2.4.1 ATENUACIÓN.....	7
1.2.4.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA.....	8
1.2.4.3 DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN.....	9
1.2.5 CLASES DE FIBRAS USADAS EN EL DISEÑO DE REDES ÓPTICAS.	10
1.2.5.1 FIBRA DE DISPERSIÓN SIN CAMBIOS (DISPERSION-UNSHIFTED FIBER).	10
1.2.5.2 FIBRA DE DISPERSIÓN CON CAMBIOS (DISPERSION-SHIFTED FIBER).....	10
1.2.5.3 FIBRA CON DISPERSIÓN SIN CERO (NONZERO-DISPERSION FIBER).....	11
1.3.1 TECNOLOGÍAS DE REDES DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA.....	11
1.3.1.1 RED ÓPTICA ACTIVA.....	11
1.3.1.2 RED ÓPTICA PASIVA	12
1.4.1 CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS SISTEMAS PON.....	13
1.4.2 TIPOS DE REDES PON.....	14
1.4.2.1 RED APON.....	15

1.4.2.2 RED BPON.....	15
1.4.2.3 RED GPON.....	16
1.4.2.4 RED EPON.....	17
1.4.3 VENTAJAS DE LAS REDES PON.....	18
1.4.4 CUADRO COMPARATIVO DE REDES PON.....	19
1.5.1 RED ÓPTICA PASIVA VÍA ETHERNET (EPON).....	20
1.5.2 ¿POR QUÉ ETHERNET?.....	21
1.5.3 ESTÁNDAR IEEE 802.3AH.....	22
1.5.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	23
1.6.1 TOPOLOGÍAS CONVENCIONALES EN REDES ÓPTICAS PASIVAS ETHERNET.....	27
1.6.2 COMPONENTES DE UNA RED PASIVA ÓPTICA.....	28
1.6.2.1 LÍNEA TERMINAL ÓPTICA (OLT).....	28
1.6.2.2 UNIDAD ÓPTICA DE RED (ONU).....	29
1.6.2.3 SPLITTER ÓPTICO.....	30
1.7.1 INTRODUCCIÓN A CÁLCULOS DE PRESUPUESTO DE PÉRDIDA Y DE ANCHO DE BANDA.....	31
1.7.2 PRESUPUESTO DE PÉRDIDA DE ENLACE.....	31
1.7.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA CÁLCULOS DE PÉRDIDAS.....	32
1.7.3.1 POTENCIA DE TRANSMISOR.....	32
1.7.3.2 SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR.....	32
1.7.3.3 GANANCIA DEL SISTEMA.....	32
1.7.3.4 PÉRDIDAS DEL SISTEMA.....	32
1.7.3.5 MARGEN DE SEGURIDAD.....	33
1.7.3.6 RANGO DINÁMICO.....	33
1.7.3.7 PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO ENTRE TRANSMISOR Y FIBRA ÓPTICA.....	33
1.7.3.8 PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO ENTRE FIBRA ÓPTICA Y RECEPTOR.....	34
1.7.3.9 PÉRDIDA POR INSERCIÓN.....	34
1.7.3.10 PÉRDIDA POR EMPALME.....	34
1.8.1 PRESUPUESTO DE TIEMPO DE SUBIDA.....	34
CAPÍTULO 2: SIMULACION DE ENLACE DE RED OPTICA PASIVA.....	2
2.1 TOPOLOGÍA A SIMULARSE.....	2
2.1.1 ANÁLISIS DE ESQUEMAS PLANTEADOS EN PLAZA MADEIRA.....	38
2.1.1.1 COMPONENTES DEL PRIMER ESQUEMA SIMULADO.....	39
2.1.1.2 COMPONENTES DEL SEGUNDO ESQUEMA SIMULADO.....	41
2.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES USADOS EN LA SIMULACIÓN.....	42

2.2.1 PARÁMETROS DE COMPONENTES SIMULADOS EN EL ENLACE DE LA RED ÓPTICA PASIVA ETHERNET.	43
2.2.2 ANÁLISIS DE TRANSCEPTORES DE LA LÍNEA ÓPTICA TERMINAL (OLT).	43
2.2.2.1 EPON TRANSCEPTOR OLT WTD.....	44
2.2.2.2 EPON TRANSCEPTOR OLT FIBERXON.	45
2.2.3 ANÁLISIS DE TRANSCEPTOR DE TERMINAL ÓPTICO DE RED (ONT).....	46
2.2.3.1 EPON TRANSCEPTOR ONT WTD.	46
2.2.3.2 EPON TRANSCEPTOR ONT FIBERXON.....	47
2.2.4 ANÁLISIS DE SPLITTER.....	49
2.2.5 ANÁLISIS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	49
2.2.5.1 FIBRA CORNING SMF-28e+.....	50
2.2.5.2 FIBRA HITACHI MATCHED CLADDING.....	51
2.3.1 PARÁMETROS CALCULADOS EN LA SIMULACIÓN DE ENLACE DE RED ÓPTICA PASIVA.	52
2.3.2 CÁLCULO DE GANANCIA DEL SISTEMA.	52
2.3.3 DETERMINACIÓN DE MARGEN DE SEGURIDAD.	52
2.3.4 CÁLCULO DE PÉRDIDA TOTAL POR CONECTORES.....	52
2.3.5 CÁLCULO DE PÉRDIDA TOTAL POR EMPALMES.....	53
2.3.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR INSERCIÓN.....	53
2.3.7 CÁLCULO DE PERDIDA POR LA FIBRA ÓPTICA.	53
2.3.8 CÁLCULO DE NIVEL DE SEÑAL RECIBIDA.....	54
2.3.9 VERIFICACIÓN DE RANGO DINÁMICO.....	54
2.3.10 PRESUPUESTO DE PÉRDIDA DE ENLACE.	54
2.3.11 TIEMPO DE SUBIDA DE LA FIBRA ÓPTICA.....	54
2.3.12 TIEMPO DE SUBIDA DEL SISTEMA.	55
2.3.13 TASA DE DATOS DEL SISTEMA.	55
2.4.1 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO DE MATLAB (GUIDE).....	55
2.4.1.1 PORTADA.....	56
2.4.1.2 MENÚ.....	57
2.4.1.3 RESULTADO DE ESQUEMA 1 Y 2.....	58
CAPITULO 3: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN	37
3.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE ESQUEMAS	37
3.1.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA GANANCIA DE SISTEMA DEL PRIMER ESQUEMA.....	62

3.1.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES DE PÉRDIDAS DEL PRIMER ESQUEMA..	62
3.1.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE ENLACE DEL PRIMER ESQUEMA.....	64
3.1.4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE TASAS DE DATOS Y TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL PRIMER ESQUEMA.....	64
3.2.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA GANANCIA DE SISTEMA DEL SEGUNDO ESQUEMA.....	65
3.2.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES DE PÉRDIDAS DEL SEGUNDO ESQUEMA.....	66
3.2.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE ENLACE DEL SEGUNDO ESQUEMA.....	67
3.2.4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE TASAS DE DATOS Y TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL SEGUNDO ESQUEMA.....	67
3.3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS.....	68
3.3.2 VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ESQUEMAS EN LA VIDA REAL ..	69
3.3.3 FLEXIBILIDAD Y ESCALABILIDAD DE LOS ESQUEMAS.....	70
3.3.4 VELOCIDAD DE DATOS DIRIGIDA AL SUSCRIPTOR.....	71
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1.1: Cable de cobre par trenzado	3
Fig. 1.2: Cable coaxial.....	3
Fig. 1.3: Comparación de medios de transmisión.	5
Fig. 1.4: Curva de pérdidas causadas por atenuación.	8
Fig. 1.5: Dispersión por modo de polarización causada en la fibra óptica.	9
Fig. 1.6: Diagrama de una red óptica activa.	12
Fig. 1.7: Diagrama de una red óptica pasiva.	13
Fig. 1.8: Diagrama de una red óptica usada para CATV.....	14
Fig. 1.9: Diagrama de una red óptica GPON.....	17
Fig. 1.10: Tráfico de una red óptica pasiva Ethernet.	18
Fig. 1.11: Tráfico en el canal descendente de una red óptica pasiva Ethernet.....	24
Fig. 1.12: Tráfico en el canal ascendente de una red óptica pasiva Ethernet.	25
Fig. 1.13: Topología tipo árbol... ..	27
Fig. 1.14: Topología tipo estrella.....	28
Fig. 1.15: Línea óptica terminal.....	29
Fig. 1.16: Terminal óptico de red.	30
Fig. 1.17: Splitter óptico.	30
Fig. 2.1: Red exterior de la urbanización Plaza Madeira.	37
Fig. 2.2: Diagrama del primer esquema.	40
Fig. 2.3: Diagrama del segundo esquema.....	42
Fig. 2.4: Portada del programa.	56
Fig. 2.5: Menú del programa.	58
Fig. 2.6: Resultados de la simulación de los esquemas.....	59
Fig. 3.1: Gráficos de potencia vs distancia del primer esquema.	63
Fig. 3.2: Gráficos de potencia vs distancia del segundo esquema.	67

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla. 1.1: Tabla de selección de fibra óptica.....	10
Tabla. 1.2: Tabla comparativa de tecnologías PON.....	20
Tabla. 2.1: Tabla de componentes del primer esquema.....	39
Tabla. 2.2: Tabla de componentes del segundo esquema.....	41
Tabla. 2.3: Tabla de parámetros del transmisor del OLT marca WTD.....	44
Tabla. 2.4: Tabla de parámetros del receptor del OLT marca WTD.....	44
Tabla. 2.5: Tabla de parámetros del transmisor del OLT marca Fiberxon.....	45
Tabla. 2.6: Tabla de parámetros del receptor del OLT marca Fiberxon.....	46
Tabla. 2.7: Tabla de parámetros del transmisor del ONT marca WTD.....	47
Tabla. 2.8: Tabla de parámetros del receptor del ONT marca WTD.	47
Tabla. 2.9: Tabla de parámetros del transmisor del ONT marca Fiberxon.	48
Tabla. 2.10: Tabla de parámetros del receptor del ONT marca Fiberxon.	48
Tabla. 2.11: Tabla de parámetros de fibra Corning SMF-28e+.....	50
Tabla. 2.12: Tabla de parámetros de fibra Hitachi matched cladding.	51

INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchas empresas de telecomunicaciones han optado por migrar de las redes típicas de cobre e inalámbricas a redes basadas en fibra óptica debido a la enorme diferencia que existe en ancho de banda y tasa de datos ofrecidos por este tipo de redes basadas en enlaces ópticos.

Es por eso que cada vez es más común la implementación de redes basadas en fibra óptica y una de las más usadas son las tipo PON (Passive Optical Networks) porque permiten eliminar componentes activos de la red por componentes ópticos reduciendo pérdidas en el sistema.

En este estudio se procedió a hacer una simulación de los enlaces ópticos de una red PON cuyo funcionamiento se basa en Ethernet (EPON) diseñada para la urbanización Plaza Madeira situada en el Km 16.5 de la vía a Samborondón. Las redes tipo EPON son redes que no son muy costosas y están compuestas por componentes pasivos.

La herramienta que se ha implementado mediante el software MATLAB permite observar el comportamiento de los enlaces de subida y bajada de la red, además de efectuar el cálculo del presupuesto de enlace y el presupuesto de ancho de banda, los cuales son factores importantes que se deben tomar en cuenta al momento de la implementación de una red óptica. Una de las herramientas de MATLAB ha permitido implementar una interfaz gráfica de usuario la cual facilita el resultado de la simulación de una manera más amistosa para el usuario.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En este capítulo se detallarán los conceptos teóricos necesarios para el entendimiento del proyecto. Se iniciará mencionando los tipos de redes de acceso al medio, para luego dar una breve explicación de los tipos de fibras ópticas utilizadas en redes PON. Posteriormente se pondrá énfasis en los tipos de redes PON, lo que permitirá introducirnos al estándar EPON, que es el estándar que se utilizará en la simulación. Finalmente se detallarán los parámetros utilizados en la simulación de los enlaces ópticos.

1.1.1 ACCESO A LA RED.

El acceso juega un papel de gran importancia desde el punto de vista tecnológico dentro del desarrollo del modelo de redes y estas deben evolucionar constantemente para satisfacer las necesidades de los usuarios que demandan tecnologías de acceso de banda ancha que les permitan acceder a un conjunto de nuevos servicios y prestaciones que les ofrecen las redes de comunicación.

Una red de acceso al medio es aquella parte de la red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con algún proveedor de servicios y es complementaria a la red de núcleo del sistema. Muchos de los avances

tecnológicos que se pueden percibir directamente en el área de las telecomunicaciones corresponden a esta parte de la red, la misma que puede subdividirse en red de distribución/agregación y red de última milla.

A pesar de existir varios métodos de acceso al medio, se los puede definir en 2 grandes grupos claramente identificados que son:

- Redes de acceso físicas.
- Redes de acceso inalámbricas.

1.1.2 REDES DE ACCESO INALÁMBRICAS.

Son aquellas cuya tecnología de acceso es no guiada, es decir que emplean como medio de transmisión el aire para propagar la información por medio del uso del espectro electromagnético por ondas de radio.

Los sistemas de acceso inalámbrico (WAS – Wireless Access Systems) se definen como conexiones de radiocomunicaciones de usuario final para redes centrales privadas o públicas. Las tecnologías utilizadas hoy en día para realizar el acceso inalámbrico incluyen sistemas celulares, sistemas de telecomunicaciones sin cables y sistemas de redes inalámbricas de área local. ^[15]

1.1.3 REDES DE ACCESO FÍSICAS.

Son aquellas cuyo tipo de tecnología de acceso es guiado, es decir que requieren de la existencia de un medio confinado de transmisión que transporte en su interior la información entre los extremos de dicha red, entiéndase desde el proveedor hasta el usuario final.

En este tipo de redes de acceso encontramos el acceso mediante cobre, cable coaxial, fibra óptica y redes de acceso híbridas (HFC).

1.1.3.1 REDES DE ACCESO VÍA COBRE.

Es el medio físico más extendido en las redes de telecomunicaciones a nivel global y como su nombre lo indica es implementado mediante hilos de cobre usado tradicionalmente para el servicio telefónico, pero por sus características de propagación le permiten transportar una mayor cantidad de información y es capaz de transportar señales de voz, video y datos en forma simultánea, tal es el caso de VDSL2 con un ancho de banda superior a 200 Mbit/s, pero a limitadas distancias.

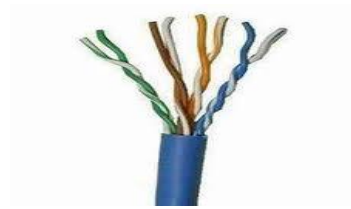


Figura 1.1-Cable de cobre par trenzado. [19]

1.1.3.2 REDES DE ACCESO VÍA CABLE COAXIAL.

Es una red de acceso de las más extendidas puesto que como medio físico requiere de cable coaxial que es muy utilizado para proveer servicio de televisión por cable, principalmente, y mediante la adición de componentes adicionales también es capaz de soportar lo que se conoce como triple play (voz, video y datos).

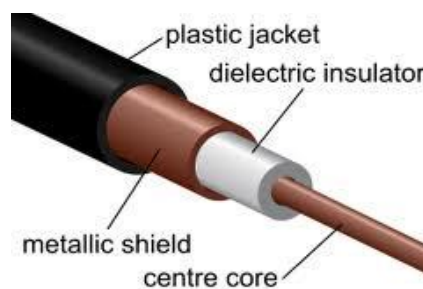


Figura 1.2-Cable coaxial. [20]

1.1.3.3 REDES DE ACCESO VÍA FIBRA ÓPTICA.

Es un excelente medio de acceso físico y sobresale entre los otros medios de acceso debido a que en teoría puede ser capaz de transportar volúmenes de información en el orden de los Tb/s.

1.1.3.4 REDES DE ACCESO HÍBRIDAS (HFC).

Una red HFC es una red de telecomunicaciones por cable que combina la fibra óptica y el cable coaxial como soportes de la transmisión de las señales.

Las redes HFC, mediante el uso de cable módems diseñados para las comunicaciones digitales tienen la capacidad para ofrecer servicios de acceso a redes de datos como Internet a grandes velocidades. [15]

1.1.4 COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE REDES DE ACCESO FÍSICA.

En cuanto a prestaciones de tecnología, velocidad y confiabilidad de la red, el acceso mediante cable de fibra óptica termina siendo superior a los otros tipos de acceso mencionados y a pesar de aun no ser el medio más extendido a nivel mundial (cediéndole este lugar al acceso vía cable de cobre), tenemos la seguridad que pronto se convertirá en estándar e irá reemplazando paulatinamente los otros tipos de acceso físicos a una red de telecomunicaciones dado que el usuario cada vez es más exigente en cuanto a su demanda de ancho de banda para satisfacer sus necesidades tecnológicas de acceso a la información.

A continuación en la figura 1.3, se ilustra la relación entre distancia y capacidad de transmisión de los diferentes tipos de acceso físicos a la red.

[16]

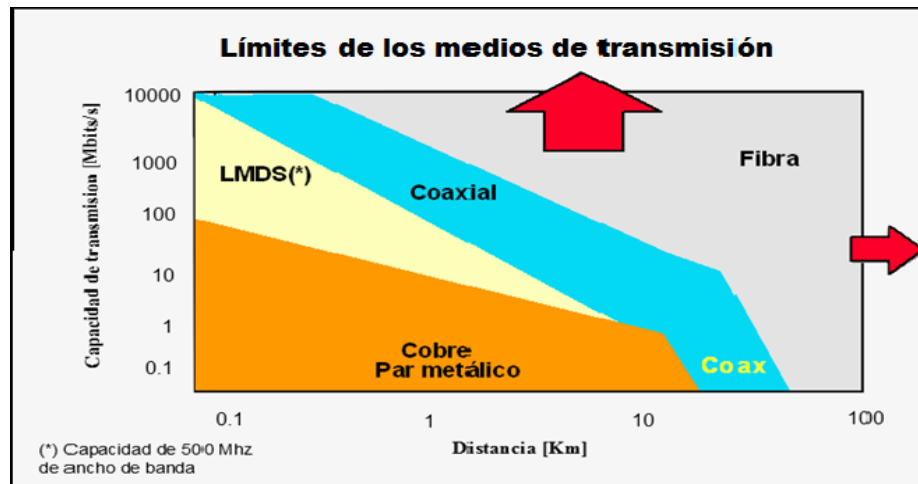


Figura 1.3- Comparación de medios de transmisión. [21]

1.2.1 FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos. Este medio de transmisión es un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. Las redes implementadas con fibra permiten proporcionar a los clientes una comunicación bidireccional de alta capacidad con acceso directo. Las redes de acceso local se diseñan utilizando un sistema de fibra óptica de alta velocidad, que permite prestar una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales. Las redes locales son capaces de proporcionar servicios de telefonía, internet de banda ancha y televisión por cable. Existen dos tipos de fibra las cuales se usan en todas las redes ópticas implementadas en el mundo y son: las fibras multimodo y las fibras monomodo.

1.2.2 FIBRA MULTIMODO.

El término multimodo indica que pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales se propagan por caminos

diferentes dentro de la fibra óptica. Este efecto produce lo que se llama dispersión y hace que el ancho de banda de los pulsos de luz dentro de esta fibra sea inferior al de las fibras monomodo. [3]

Sin embargo estos dispositivos utilizados con las multimodo tienen un costo inferior. Este tipo de fibras son las preferidas para comunicaciones a pequeñas distancias, hasta los 10 Km.

1.2.3 FIBRA MONOMODO.

El diámetro del núcleo de la fibra es muy pequeño y sólo permite la propagación de un único modo o rayo (fundamental), el cual viaja directamente sin reflexión. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado, por lo que se utiliza para enlaces a gran distancia.

Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. Es también más costosa pero permite mayor cobertura de transmisión.

En las recomendaciones G.652, G.653, G.654 y G.655; la UIT-T hace una distinción de las fibras ópticas monomodo de acuerdo a su dispersión cromática, que es la variación del índice de refracción de un medio óptico con la longitud de onda. La recomendación G.652 indica las características de un cable de fibra óptica monomodo. Su dispersión y longitud de corte no se desplazan de la región de longitud de onda de 1310 nm.

La recomendación G.653 indica las características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado. La mínima dispersión cromática para este tipo de fibra se desplaza a la región de la longitud de onda de 1550 nm. La recomendación G.654 indica las características de los cables de fibra óptica monomodo con longitud de corte desplazado. Esta recomendación describe una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm con corte desplazado y

pérdida minimizados a una longitud de onda en torno a 1550 nm y que está optimizada para el uso en la región de 1500-1600 nm.

La recomendación G.655 indica las características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula. Esta recomendación describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) tiene que ser menor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista. [4]

1.2.4 PROPIEDADES DE LA FIBRA ÓPTICA.

La recomendación G.650 de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) trata acerca de la definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras ópticas. En esta encontramos la atenuación, la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización con sus respectivos métodos de medición.

1.2.4.1 ATENUACIÓN.

Es la pérdida de potencia óptica en una fibra, y se mide en dB y dB/Km. En la figura 1.4 se muestra el espectro de la curva de atenuación típica de una fibra óptica hecha de silicio. La curva tiene tres características principales: una gran tendencia de atenuarse conforme se incrementa la longitud de onda (Dispersión Rayleigh); una atenuación en los picos de absorción asociados con el ion hidróxido (OH), y una tendencia por la atenuación para incrementar las longitudes de onda por arriba de los 1.6 μm , debidas a las pérdidas inducidas por la absorción del silicio. [3]

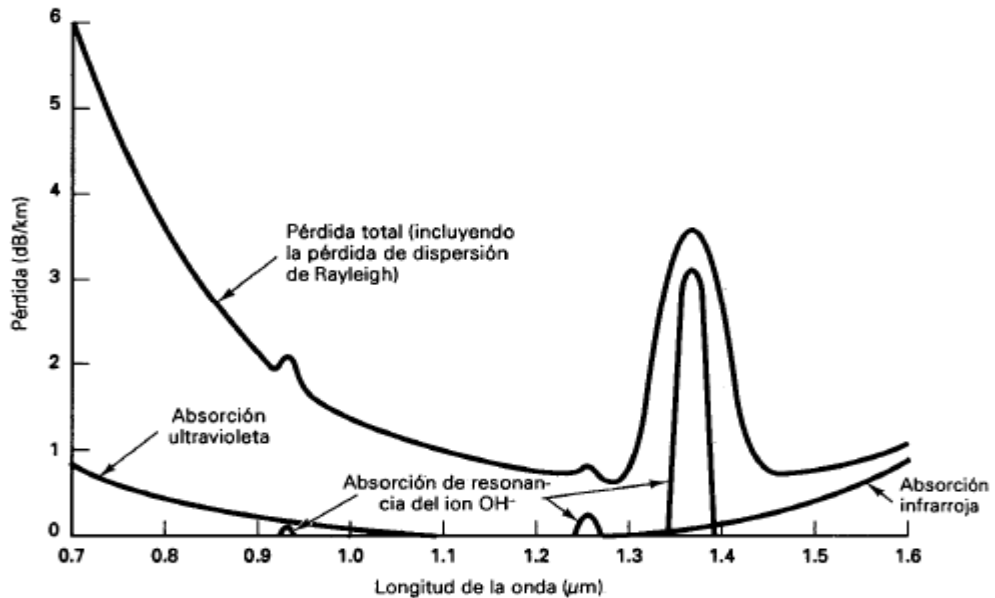


Figura 1.4- Curva de pérdidas causadas por atenuación. [22]

En forma general, a las pérdidas por atenuación también se las conoce como pérdidas por absorción. Como se ve en la figura 1.4, se presentan pérdidas por absorción ultravioleta que es provocada por electrones de valencia en el material de silicio del cual se fabrican las fibras.

1.2.4.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA.

Las fuentes de luz nunca son monocromáticas. La luz emitida por estas fuentes está constituida por la suma de diversas longitudes. El índice de refracción del material que forma a la fibra varía con la longitud de onda, lo que da por resultado una velocidad de propagación diferente para cada longitud de onda. Si se inyecta luz de diversas longitudes en una dirección dada (modo especificado), esta luz se propaga a diferentes velocidades, según sea la longitud de onda, y si se descompone en función del tiempo, da como resultado un retardo entre las diferentes longitudes de onda en el extremo de la fibra, aun cuando se hayan inyectado en el mismo instante.

En longitudes de onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual puede producir una tasa de bits reducida.

La dispersión cromática está formada por la suma de dos componentes:

- La dispersión inherente al material.
- La dispersión originada por la estructura de la guía de onda.

Estos componentes pueden tener signos diferentes dependiendo del incremento o disminución de la velocidad de la luz con la longitud de onda.

1.2.4.3 DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN.

Polarización es la propiedad de la luz la cual está relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica puede vibrar en uno o dos modos de polarización. [3]

La figura 1.5 muestra los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD), es típicamente medida en pico segundo (ps).

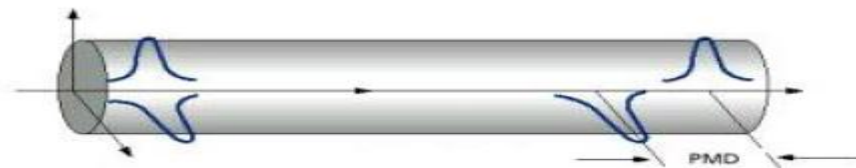


Figura 1.5-Dispersión por modo de polarización causada en la fibra óptica.[23]

1.2.5 CLASES DE FIBRAS USADAS EN EL DISEÑO DE REDES ÓPTICAS.

Según las recomendaciones de UIT, las cuales se encargan de regular las características tanto ópticas como también de construcción, permite dar a conocer las clases de fibra ópticas destinadas para la implementación de enlaces ópticos de corta y larga distancias, que benefician al usuario con ciertas características que permiten obtener valores altos de ancho de banda y tasas de datos. [17]

En la tabla 1.1 se observa las clases de fibra usadas en enlaces ópticos.

Guía de selección de fibra						
40		SMF	DSF		NZ-DSF	
≤10	≤40		DSF		NZ-DSF	
≤10	≤10		DSF		NZ-DSF	
≤2.5	≤10		DSF		NZ-DSF	
≤2.5	≤2.5		DSF		NZ-DSF	
Bit Rate (Gbit/s)	0-20 Km.	0-70 Km.	70-200 Km.	200-500 Km.	500-1200 Km.	>1200 Km
	Acceso	METRO		Vano Largo		Vano Ultra Largo

Tabla 1.1- .Tabla de selección de fibra óptica.

1.2.5.1 FIBRA DE DISPERSIÓN SIN CAMBIOS (DISPERSION-UNSHIFTED FIBER).

Conocida como USF (UIT-T recomendación G.652) presenta una dispersión cromática en los 1310 nm nominales, algunas veces llamada “estándar” o fibra convencional (USF), es la fibra óptica más usada.

1.2.5.2 FIBRA DE DISPERSIÓN CON CAMBIOS (DISPERSION-SHIFTED FIBER).

Conocida como, DSF (UIT-T recomendación G.653), se relocaliza la mínima dispersión cromática de longitud de onda desde 1310 a 1550 nm.

Alinea la región de la dispersión mínima cromática con la región mínima de pérdida óptica.

1.2.5.3 FIBRA CON DISPERSIÓN SIN CERO (NONZERO-DISPERSION FIBER).

Específicamente diseñada para el uso de las últimas generaciones de sistemas amplificados. NZDF (UIT-T recomendación G.655) tiene una mínima y una máxima cantidad de dispersión cromática especificada sobre una porción de la tercera ventana de longitud de onda. NZDF es usada extensamente en largas redes submarinas y terrestres.

1.3.1 TECNOLOGÍAS DE REDES DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA.

Hay 2 tipos de redes de acceso por fibra óptica las cuales son redes AON (red óptica activa) y redes PON (red óptica pasiva).

1.3.1.1 RED ÓPTICA ACTIVA.

Es aquella red en la cual se utilizan elementos ópticos activos que requieren energía para su alimentación y permiten largas distancias entre la sala de equipos y los abonados.

Estas redes están basadas en el Standard IEEE 802.ah, las redes activas Ethernet proveen de ancho de banda simétrico con velocidades superiores a 1Gbps por puerto sobre una única fibra, utilizando dos longitudes de onda multiplexadas y diferenciadas sobre cada fibra óptica. De ésta manera con cada longitud de onda tenemos dos slots de transmisión, un slot se utiliza como canal de transmisión y otra para el canal de recepción. ^[18]

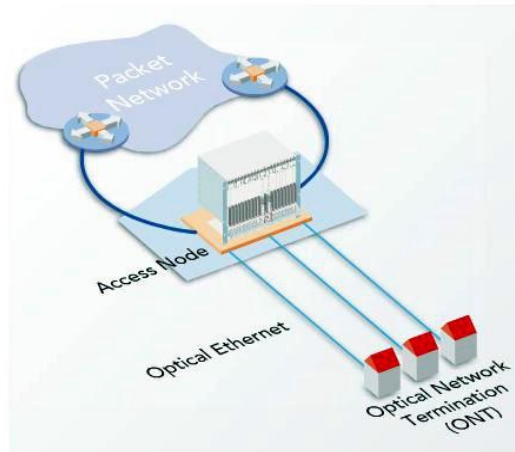


Figura 1.6-Diagrama de una red óptica activa. [24]

En la figura 1.6, se puede observar el diagrama de una red óptica activa (AON), la cual posee elementos activos que permiten alcanzar largas distancias entre el nodo de acceso y los suscriptores.

1.3.1.2 RED ÓPTICA PASIVA.

Es aquella red en la cual se utilizan elementos ópticos pasivos para guiar el tráfico de información por lo que no se necesita energía para alimentación en ningún punto intermedio de la red.

La red óptica pasiva ha sido considerada para el acceso a la red hace bastante tiempo, incluso mucho antes de que estimara la demanda de ancho de banda de internet y son las más utilizadas sobre todo en redes que requieren cubrir extensos tramos de longitud en el orden de kilómetros. Las redes PON son de desarrollo reciente, pero ya están siendo aplicadas en muchos países para servicios de fibra óptica hasta el edificio o el usuario.

Una red PON es un sistema de comunicaciones por fibra óptica en el que se establece una comunicación punto-multipunto entre un router central denominado OLT (optical line Terminal) Terminal óptico de línea y los

equipos en campo ONT (optical Network Terminal) Terminal óptico de red. [18]

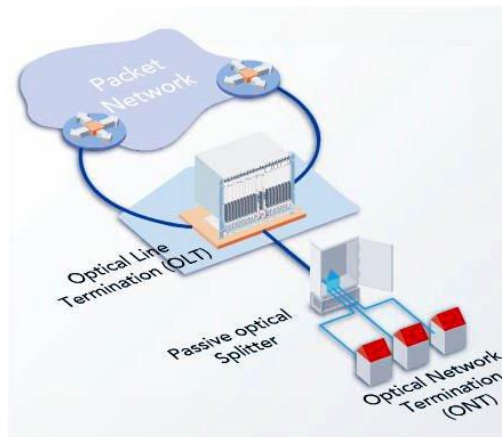


Figura 1.7-Diagrama de una red óptica pasiva. [24]

Tal como se observa en la figura 1.7, la red óptica pasiva está conformada por elementos pasivos utilizados para guiar el tráfico hacia los usuarios.

1.4.1 CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS SISTEMAS PON.

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).

Las redes ópticas pasivas toman su modelo de las redes CATV, que están compuestas 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, cada nodo óptico se encarga de proveer acceso a un determinado número de usuarios (en función del ancho de banda que se quiere asignar a los usuarios) utilizando cable coaxial y divisores de

señales eléctricas. 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 36 Mbps de los sistemas cablemodem DOCSIS y EURODOCSIS por nodo óptico. [1]

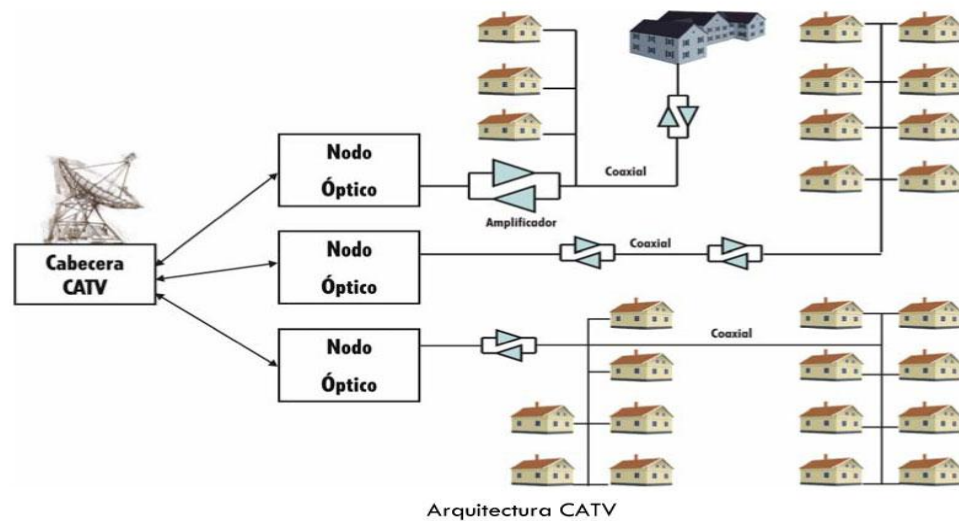


Figura 1.8-Diagrama de una red óptica usada para CATV. [25]

En la figura 1.8, se ilustra un ejemplo de una red óptica usada para CATV, donde se puede observar un segmento conformado por fibra óptica y el segmento de la última milla formado por enlaces de cable coaxial.

1.4.2 TIPOS DE REDES PON.

Existen diferentes tipos de redes PON que son: APON, BPON, GPON, EPON.

1.4.2.1 RED APON.

A-PON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) está definida en la revisión del estándar de la UIT-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las especificaciones iniciales definidas para las redes PON fueron hechas por el comité FSAN (Full Service Access Network), el cual utiliza el estándar ATM como protocolo de señalización de la capa 2 (Enlace de Datos).

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 (capa física de operación de administración y mantenimiento) 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 tecnología 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. ^[1]

1.4.2.2 RED BPON.

Es un estándar basado en anterior (APON), pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología A-PON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet,

distribución de video, VPL y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando un mayor ancho de banda, entre otras mejoras.

Aparte de ser una mejora de A-PON también basa su arquitectura en dicha tecnología. Broadband-PON se define en varias revisiones al estándar UIT-T 983 de las cuales están desde la G.983.1 que es la original de esta tecnología, hasta la G.983.8.

La especificación G.983.1 de B-PON define una arquitectura de forma simétrica, es decir, que la velocidad para la transmisión de datos en el canal de bajada es el mismo para el canal de subida (155 Mbps).

Esta norma fue revisada un tiempo después para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas asimétricas (155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada). ^[1]

1.4.2.3 RED GPON.

Es una evolución de BPON perteneciente a la arquitectura PON, la cual está aprobada por la UIT-T en 4 recomendaciones, la G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4; cuyo propósito es ayudar a mejorar la transmisión del tráfico IP y ATM mediante celdas de tamaño variable además de ofrecer un ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras.

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2,488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Esto comparado con las velocidades de 155 y 622 Mbps de las anteriores tecnologías deja ver un gran avance en cuanto a eficiencia y escalabilidad.

Entre sus principales características tenemos:

- Alcance máximo de 20 km, aunque el estándar se ha preparado para que pueda llegar hasta los 60 Km.

- Soporte de varias tasas de datos con el mismo protocolo, incluyendo velocidades simétricas de 622 Mbps, 1.25 Gbps y asimétricas de 2.5 Gbps en el enlace descendente y 1.25 Gbps en el ascendente.
- Seguridad del nivel de protocolo para el enlace descendente debido a la naturaleza multicast de PON.
- La cantidad máxima de usuarios que puede alojar una misma fibra es 64 (el sistema está preparado para dar hasta 128). [1]

En la figura 1.9, se puede observar el diagrama de una red GPON con la cantidad máxima de suscriptores y la distancia máxima entre OLT y ONT.

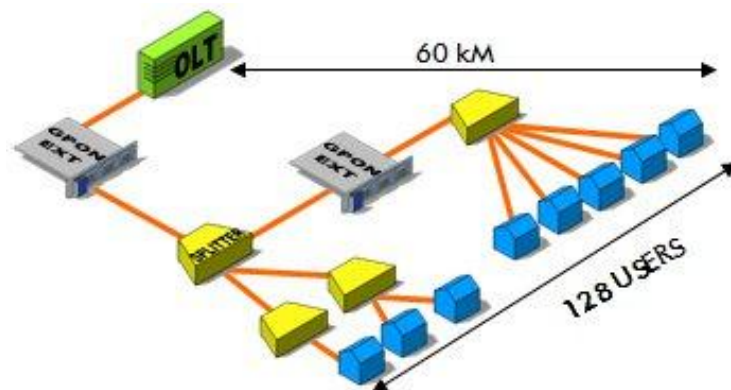


Figura 1.9-Diagrama de una red óptica GPON. [25]

1.4.2.4 RED EPON.

Ethernet – PON es un sistema desarrollado por un grupo de estudio de la IEEE de Ethernet en la última milla y se caracteriza porque transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM. Este tipo de red mejora el tráfico IP, la seguridad y soporta mayores velocidades de transmisión de datos.

Este sistema aplica los beneficios que trae usar la fibra óptica en el transporte vía Ethernet. EPON se apega a la norma de IEEE 802.3 y

funciona con velocidades de Gigabit, por lo cual la velocidad con la que dispone cada usuario final depende del número de ONUs que se interconecten a cada OLT. Una ventaja de este sistema es que ofrece QoS (Calidad del servicio) en ambos canales (downstream y upstream).

Posiblemente el principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a clásica ineficiencia de las alternativas basadas en ATM. Además, la interconexión de islas EPON es mucho más sencilla que la interconexión de APON/BPON, GPON puesto que no requiere arquitecturas SDH para realizar el transporte WAN. [1]

En la figura 1.10, se puede observar el tráfico de una red óptica pasiva Ethernet, desde el OLT hasta los usuarios finales o suscriptores.

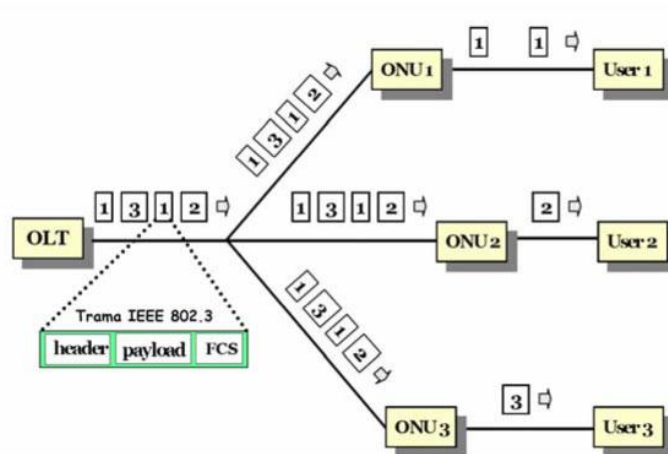


Figura 1.10-Tráfico de una red óptica pasiva Ethernet. [26]

1.4.3 VENTAJAS DE LAS REDES PON.

Como se expuso anteriormente son muchas las ventajas que tienen los distintos tipos de tecnologías PON y entre estas destacan:

- Aumento de la cobertura hasta los 20 Km. (desde la central). Con tecnologías DSL como máximo se cubre hasta los 5,5 Km.
- Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario.

- Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan a los ruidos electromagnéticos.
- Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.

Las tecnologías PON tienen un costo menor a tecnologías ópticas punto a punto.

1.4.4 CUADRO COMPARATIVO DE REDES PON.

Las redes PON son conocidas por ofrecer un gran ancho de banda, altas tasas de datos y ser inmunes al ruido. Las redes ópticas pasivas se dividen en diferentes tipos dependiendo de su estándar y bajo que protocolo fue desarrollado.

En la tabla 1.2, se compara tres tipos de redes ópticas pasivas con sus principales características como: velocidades de línea ascendente y descendente, codificación, alcance máximo, cantidad máxima y mínima de nodos, protocolo de capa 2 y otras características importantes que se menciona en la tabla 1.2.

	IEEE EPON	ITU-T GPON	ITU-T BPON
Velocidad de línea descendente (Mbps)	1250	1244.16 o 2488.16	155.52 o 622.08 o 1244.16
Velocidad de línea ascendente (Mbps)	1250	155.52 o 622.08 1244.16 o 2488.32	155.52 o 622.08
Codificación de línea	8b/10b	NRZ(+ aleatorización)	NRZ(+ aleatorización)
Direccionamiento por nodo (min)	16	64	32
Direccionamiento por nodo (max)	256	128	64
Alcance tramo de fibra	10 Km o 20 Km	20 Km	20 Km
Protocolo nivel 2	Ethernet	Ethernet sobre ATM (GPF) y/o ATM	ATM
Soporte tráfico TDM (voz, centralistas)	TDMoIP	TDM nativo sobre ATM o TDMoIP	TDM sobre ATM
Flujos diferentes de tráfico por sistemas PON	Depende de LLID / ONUs	4096	256
Capacidad ascendente para tráfico IP	< 900 Mbps	1160 Mbps	500 Mbps
Gestión y Mantenimiento OA&M	Ethernet OAM, SNMP	PL OAM + OMCI	PL OAM + OMCI
Seguridad en descendente	DES	AES	AES

Tabla 1.2.- Tabla comparativa de tecnologías PON.

1.5.1 RED ÓPTICA PASIVA VÍA ETHERNET (EPON).

En Enero de 2001, el IEEE (Instituto de los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) configuró un grupo de estudio llamado Ethernet en la última milla (EFM). Este grupo tenía como objetivo extrapolar la tecnología Ethernet al área residencial y de negocios llevándola hasta el

hogar aprovechando el auge que esta tecnología había experimentado en los últimos años por su simplicidad, rendimiento y facilidad de despliegue.

Este grupo de trabajo generó una nueva especificación de redes ópticas pasivas, denominada Ethernet PON (EPON). Esta nueva arquitectura se diferencia de las anteriores en que no transporta celdas ATM sino directamente tráfico nativo Ethernet. Usa el estándar 8b/10b (codificación de línea) y siempre que es posible, mantiene fielmente el espíritu de la recomendación 802.3, incluyendo el uso full dúplex de acceso al medio.

Posiblemente el principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a la clásica ineficiencia de las alternativas basadas en ATM. Además, la interconexión de islas EPON es mucho más sencilla que la interconexión de APON/BPON, GPON puesto que no requiere arquitecturas SDH para realizar el transporte WAN. ^[1]

1.5.2 ¿POR QUÉ ETHERNET?.

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por contienda CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones) que es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

El Full Service Access Network (FSAN) define una red óptica de acceso PON que utiliza ATM como protocolo de capa 2 y en ese tiempo se creía que ATM tenía grandes esperanzas de convertirse en la tecnología predominante en la LAN (Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network).

Considerando el hecho de que el 95% de las LANs usan Ethernet, queda bastante claro que ATM PON puede que no sea la mejor opción para interconectar dos redes Ethernet por lo que para este proyecto en si la mejor opción es usar como tipo de red PON el estándar definido como EPON.

1.5.3 ESTÁNDAR IEEE 802.3AH.

Para la implementación de cualquier tipo de red, se deben tomar en cuenta que existen entidades que regulan y crean estándares los cuales ayudan con normas a seguir para los diseños o implementaciones de redes en el campo de las telecomunicaciones. Las entidades más conocidas que regulan el campo de las telecomunicaciones son: IEEE, ANSI, ITU y ISO.

El estándar IEEE 802.3 es aquel que habla acerca de redes de área local y redes de área metropolitana (LAN/MAN), las cuales funcionan con tramas Ethernet y utilizan la tecnología de control de acceso al medio con detección de colisiones (CDMA/CD) para las transmisiones a cada dispositivo final que conforma la red Ethernet.

El estándar IEEE 802.3ah analiza las topologías que son Ethernet de primera milla (EFM), lo que significa que llega hasta el usuario. La red pasiva óptica Ethernet (EPON) establece valores para la tasa de transmisión de los enlaces de subida y bajada, parámetros de los transceptores tanto del lado de proveedor como del lado del usuario, tipo de fibra óptica para los enlaces, conectores y otros tipos de dispositivos que conforman la red pasiva bajo el estándar IEEE 802.3ah. Dicho estándar fija valores para enlaces de 10 Km y 20 Km. La topología de acceso a la red que utiliza el estándar 802.3ah es una topología punto a multipunto para el enlace de bajada y punto a punto para el enlace de subida los cuales proveen una velocidad de 1.25 Gbps en cada enlace. ^[1]

1.5.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Ethernet PON (EPON) es una red PON que consiste en llevar tráfico de datos encapsulados mediante tramas Ethernet (definido en el estándar IEEE 802.3).

Las tasas de datos en las redes EPON son simétricas y ofrecen 1.25 Gbps para el enlace de subida y el enlace de bajada, además el ancho de banda en las redes ópticas pasivas Ethernet se divide para la cantidad de usuarios que existen en la red.

Utiliza una codificación de línea 8b/10b (8 bits de usuario codificado en bits 10 líneas) y funciona a la velocidad estándar de Ethernet. La codificación 8b/10b consume 0.25 Gbps del ancho de banda, adicionando los encabezados de la trama causan un ancho de banda menor a 1 Gbps.

El estándar IEEE 802.3 define dos configuraciones básicas de una red Ethernet.

Una configuración que consiste en el despliegue en un medio compartido usando el Carrier Sense Multiple Access con Detección de Colisiones (CSMA / CD) de protocolo.

En la otra configuración, las estaciones se pueden conectar mediante un switch full-duplex utilizando enlaces punto a punto. Las propiedades de EPON son tales que no puede considerarse como un medio compartido o en una red punto a punto, sino que es una combinación de ambos.

En la dirección descendente, tramas Ethernet transmitidas por la OLT pasan a través de un divisor pasivo 1: N y llegan a cada ONU. N es un número entero entre 4 y 64. [1]

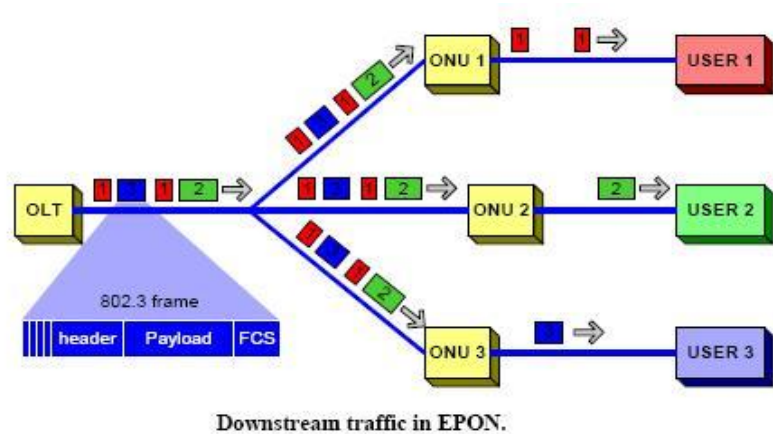


Figura 1.11-Tráfico en el canal descendente de una red óptica pasiva Ethernet. [26]

En la figura 1.11, se observa como se envía el tráfico desde el OLT hasta los ONUs, en el canal descendente en una red óptica pasiva Ethernet.

En dirección de subida, debido a las propiedades de un combinador óptico pasivo las tramas de datos procedentes de cualquier ONU llega al OLT, y no a otra ONU. En este sentido en la subida el comportamiento de EPON es similar al de la arquitectura punto a punto. Además, a diferencia de esta en EPON las tramas de datos procedentes de diferentes ONUs se transmiten de forma simultánea aunque puedan colisionar. Así en dirección de subida los ONU necesitan emplear algún mecanismo de arbitraje para impedir las colisiones de datos y compartir de forma clara la capacidad del canal de fibra.

Un mecanismo de arbitraje basado en la contención es difícil de implementar porque las ONUs no pueden detectar la colisión en los OLT. Una OLT puede detectar una colisión e informar a las ONUs enviando una señal de atasco; sin embargo la propagación se retrasa en PON, debido a que la distancia máxima puede superar los 20 km en longitud, por tanto este retraso puede reducir considerablemente la eficacia de dicho sistema.

Estos sistemas de contención también tienen el inconveniente de proporcionar un servicio no determinístico; el rendimiento de nodo y la utilización del canal pueden ser descritos mediante promedios estadísticos. No hay garantías de que un nodo tenga acceso completo al medio de transmisión en cualquier intervalo de tiempo. Esto no es un problema para CSMA/CD basado en redes de empresa donde los enlaces son cortos, generalmente es sobre-abastecido, y el tráfico consiste en su mayor parte en datos. Redes de acceso de abonados sin embargo, además de los datos, deben soportar servicios de voz y video, por lo tanto deben proporcionar algunas garantías en tiempo de entrega en este tipo de tráfico.

Para introducir el determinismo en la entrega de tramas, distintos sistemas de contención han propuesto una subida del tiempo compartido en el flujo de datos en una EPON.

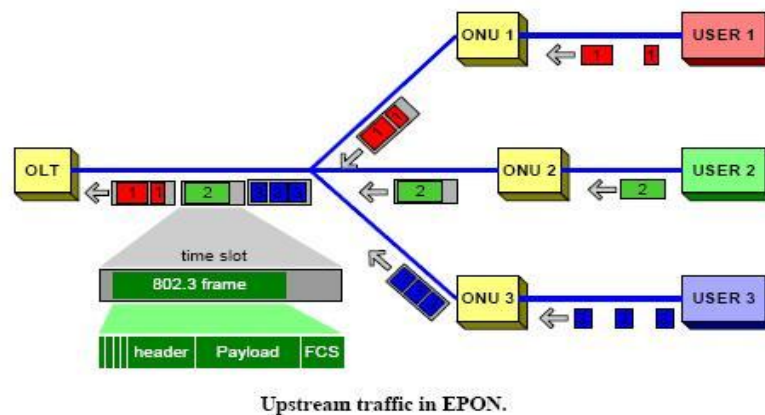


Figura 1.12-Tráfico en el canal ascendente de una red óptica pasiva Ethernet. [26]

Tal como se observa en la figura 1.12, el canal ascendente funciona de manera diferente al canal descendente, es decir, se necesita que los ONUs estén sincronizados para poder prevenir colisiones entre tramas.

Todas las ONUs están sincronizadas con una referencia de tiempo común, y cada ONU está asignada a un intervalo de tiempo. Cada intervalo de tiempo es capaz de llevar varias tramas Ethernet. Una ONU debe regular las tramas recibidas de un abonado hasta que el intervalo de dato llegue. Cuando este intervalo llega, la ONU soltaría todas las tramas almacenadas a la velocidad total del canal que en EPON es simétrica y cuyo valor es de 1.25 Gbps de los cuales se asigna un valor para el tipo de codificación usado en el envío y recepción de datos, esto disminuye el número de bits de carga útil (payload) quedando alrededor de 1Gbps de capacidad del sistema.

Si no hay tramas en el buffer para rellenar el intervalo de tiempo, 10 bits de caracteres inútiles son transmitidos. Los posibles sistemas de asignación pueden ser de asignación estática (TDMA) hasta un sistema dinámico que se adapta instantáneamente en función del tamaño de cola en cada ONU. Hay más planes de reparto, incluidos los planes de utilización de las nociones de prioridad de tráfico, calidad de servicio (QoS), Service-Level Agreements (SLAs), la tasa de sobresuscripción, etc.

Los enfoques descentralizados para implementar un sistema de asignación de slots son también posibles, en los que las ONUs deciden cuando enviar datos y durante cuánto tiempo. Estos sistemas son algo similares a un enfoque de paso de testigo (token-ring) salvo que en este caso es un anillo pasivo. En este esquema cada ONU, antes de enviar sus datos, envía un mensaje especial anunciando la cantidad de datos que va enviar. La ONU próxima prevista mostrara el envío de la anterior ONU y cuánto tiempo tarda en llegar a la OLT, después de la transmisión de la anterior ONU. Por lo tanto, no habrá colisión y no habrá pérdida de ancho de banda.

1.6.1 TOPOLOGÍAS CONVENCIONALES EN REDES ÓPTICAS PASIVAS ETHERNET.

La red óptica pasiva Ethernet es una tecnología de acceso de banda ancha la cual provee un amplio rango de servicios integrados. Los tipos de topologías más usados en esta red óptica pasivas Ethernet son: topología tipo árbol y topología tipo estrella. Las dos topologías mencionadas anteriormente permiten una conexión punto a multipunto la cual es muy común en esta clase de redes ópticas, las cuales se manejan con tecnologías de acceso al medio como TDMA o WDMA.

A continuación en la figura 1.13, se muestra la topología tipo árbol y en la figura 1.14, la topología tipo estrella; ambas topologías son muy comunes en redes implementadas con fibra óptica debido a que permiten flexibilidad y escalabilidad en las redes ópticas.

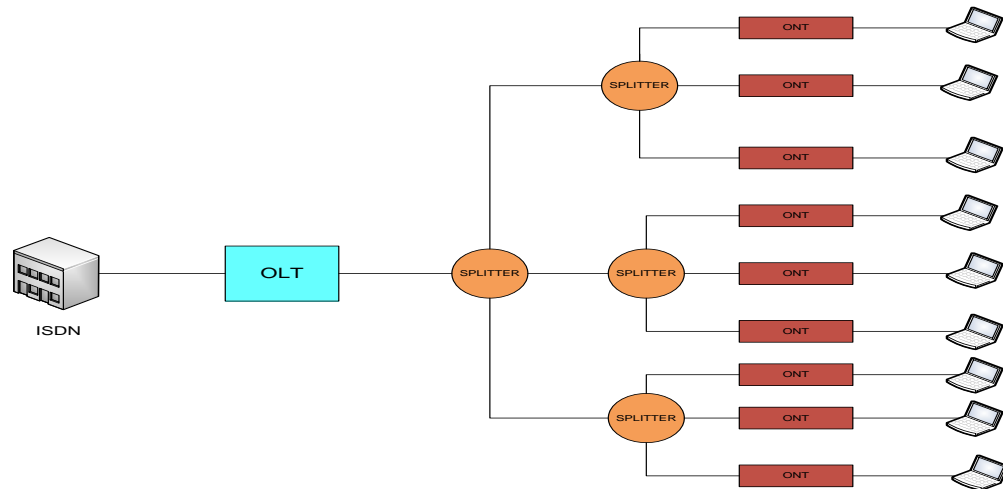


Figura 1.13-Topología tipo árbol.

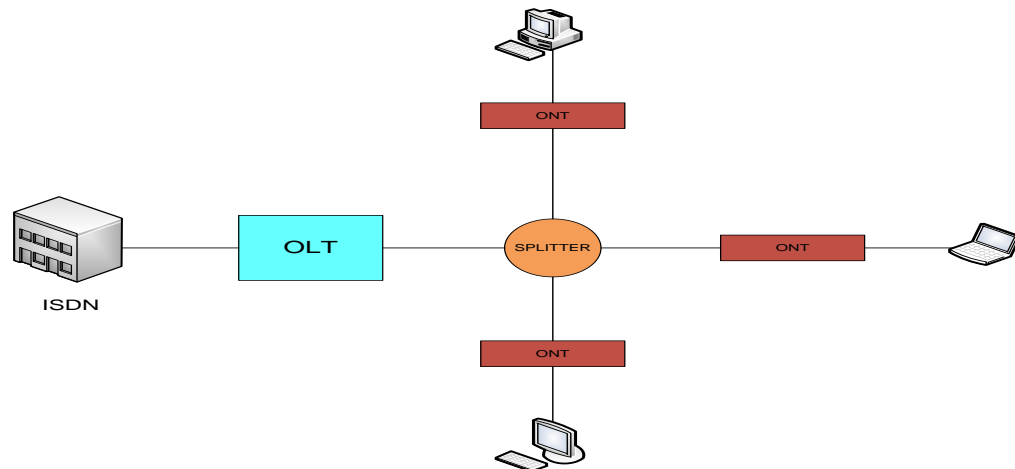


Figura 1.14-Topología tipo estrella.

1.6.2 COMPONENTES DE UNA RED PASIVA ÓPTICA.

Una red óptica pasiva se caracteriza por no depender de componentes que regeneren señal o que necesiten elementos que consuman energía eléctrica para hacer alguna acción dentro de la red exceptuando al transmisor y al receptor. A continuación se enlistaran los componentes que se usan en una red óptica pasiva Ethernet. ^[1]

- OLT (Línea terminal óptica).
- Splitter.
- ONU (Unidad óptica de red).

1.6.2.1 LÍNEA TERMINAL ÓPTICA (OLT).

La línea terminal óptica tiene como función principal la sincronización de todas las unidades ópticas de red por medio de un mecanismo llamado ranking y proveer slots o ranuras de tiempo para la transmisión de datos para cada una de las unidades ópticas de red que conforman la red. Una línea terminal óptica puede tener múltiples direcciones MAC y varias instancias de PMD (capa física dependiente) la cual se encarga de definir las longitudes de onda con las que trabaja el diplexor de la línea terminal

óptica (OLT) o la unidad óptica de red (ONU); las ventajas mencionadas anteriormente permiten a la línea terminal óptica conectarse a múltiples redes PON. En la figura 1.15, se muestra una línea óptica terminal (OLT) con las características anteriormente mencionadas.

Dentro de la línea terminal óptica existen conexiones cruzadas, las cuales permiten interconexión y conmutación de datos entre otras redes PON, unidades ópticas de red (ONU) y redes externas. Además la línea terminal óptica se encarga de cambiar el formato de la señal que proviene de la red externa a un formato compatible con la red PON destino y viceversa.

El nombre definido para el enlace existente entre la línea terminal óptica (OLT) y una red externa se denomina interfaz de servicio red (SNI). [1]



Figura 1.15-Línea óptica terminal. [27]

1.6.2.2 UNIDAD ÓPTICA DE RED (ONU).

La unidad óptica de red es la encargada de proveer al usuario recursos de la red externa mediante la conexión de una línea terminal óptica. La interfaz existente entre el usuario final y la unidad óptica de red se denomina interfaz de red de usuario (UNI). Dentro del ONU existe un multiplexor y un demultiplexor los cuales se encargan de multiplexar la señal para cada UNI existente en el ONU, estas señales pueden ser video, voz y datos. En la figura 1.16, se observa la terminal óptica de red que cuenta con puertos que permiten recibir a los usuarios señales de video, voz y datos.

En general la función principal de la unidad óptica de red es cambiar el formato de señal proveniente de la red la óptica pasiva a una señal compatible con el usuario final y viceversa, además de permitir conmutación de datos y proveer señales de video CATV. [1]



Figura 1.16-Terminal óptico de red. [27]

1.6.2.3 SPLITTER ÓPTICO.

El splitter es un elemento pasivo colocado entre la línea terminal óptica (OLT) y la unidad óptica de red (ONU). Este dispositivo permitirá dividir la señal proveniente del OLT en fracciones las cuales llegaran a los usuarios finales, el splitter es un componente pasivo debido a que no necesita alimentación eléctrica lo que permitirá ahorrar energía. En el mercado existen splitter que tienen radio de división de: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 y 1:32; aparte existen modelos los cuales reparten una cantidad simétrica de potencia óptica en sus terminales de salida y otros que dividen la señal de manera asimétrica. [1]



Figura 1.17-Splitter óptico. [27]

En la figura 1.17, se puede observar un splitter óptico con un radio de división 1:8.

1.7.1 INTRODUCCIÓN A CÁLCULOS DE PRESUPUESTO DE PÉRDIDA Y DE ANCHO DE BANDA.

En el subcapítulo 1.6.2, presentamos un resumen de los componentes básicos de un sistema EPON.

Uno de los pasos más importante para el diseño de una red óptica es probar si cada enlace por separado va a funcionar de manera correcta y verificar si el nivel de desempeño de la red óptica es acorde con las necesidades de los clientes. Uno de los objetivos principales es comprobar que la señal transmitida active al dispositivo receptor al final del enlace y que sea libre de ruido y dispersión producida al momento de ser recibido. En el subcapítulo 1.7.3, se dará una breve revisión sobre parámetros utilizados para poder ejecutar cálculos sobre presupuesto de pérdidas y presupuesto de ancho de banda.

1.7.2 PRESUPUESTO DE PÉRDIDA DE ENLACE.

Se define presupuesto de pérdidas del enlace como el análisis total de pérdidas permitidas entre la fuente y el receptor en el enlace de fibra óptica, prácticamente el presupuesto de pérdidas de enlace se deriva de las pérdidas generadas por todos los componentes pasivos y activos que conforman el enlace, como por ejemplo: perdida por conectores, perdidas por empalme, atenuación de la fibra óptica, todas estas pérdidas son medidas en decibelios (dB). [2]

1.7.3 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS USADOS PARA LOS CÁLCULOS DE PÉRDIDAS.

1.7.3.1 POTENCIA DE TRANSMISOR.

Este parámetro puede ser medido utilizando una fibra de 2 metros de longitud acoplada a una fuente de luz, la potencia medida en la salida de la fibra es la potencia del circuito transmisor. El valor de la potencia transmitida por lo general la provee el diseñador del transmisor y puede estar en valores pico o promedio y en dBm. Además es importante saber a qué temperatura se va a operar ya que el valor de la potencia transmitida puede variar. [7]

1.7.3.2 SENSITIVIDAD DEL RECEPTOR.

La sensibilidad del receptor permite saber el mínimo nivel de potencia que puede detectar el foto detector, a tal punto que la información recibida por el foto detector tenga un BER (bit error rate) de 10^{-9} o 10^{-12} . Un punto importante que se debe tomar en cuenta acerca de la sensibilidad, es que si la velocidad de transmisión aumenta el receptor deberá cambiar la sensibilidad para mantener el BER. [7]

1.7.3.3 GANANCIA DEL SISTEMA.

La ganancia del sistema es un valor que indica la potencia óptica disponible entre la fuente óptica y el fotodetector, prácticamente este valor se puede determinar mediante la diferencia entre la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor. [7]

1.7.3.4 PÉRDIDAS DEL SISTEMA.

La pérdida de intensidad óptica de la señal enviada por la fibra, se da debido a pérdidas generadas por conectores que están en cada dispositivo de la red, pérdidas por el envejecimiento de los componentes, pérdidas causadas por empalmes, atenuación de la fibra y pérdidas por

dispersión; estos factores son imprescindibles en el cálculo de pérdida de enlace. [7]

1.7.3.5 MARGEN DE SEGURIDAD.

Un parámetro importante que se debe tomar en cuenta es el margen de seguridad, que permite agregar una cantidad de potencia adicional al enlace, lo cual minimiza el efecto de pérdidas causadas por elementos nuevos en el enlace, degradación de los elementos existentes dentro del enlace, errores en el diseño y nuevos empalmes. El valor de margen de seguridad comúnmente usado está entre 5 a 10 dB. [7]

1.7.3.6 RANGO DINÁMICO.

Todo foto detector tiene un límite de potencia que puede ser capaz de recibir sin ninguna distorsión, a lo que se puede afirmar que el rango dinámico del receptor es la diferencia entre la potencia recibida y la sensibilidad de receptor. Este parámetro es muy importante en el diseño de un enlace de fibra óptica ya que si no se trabaja dentro del rango dinámico se deberán utilizar componentes que agregue una mayor atenuación en alguna sección del enlace. [7]

1.7.3.7 PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO ENTRE TRANSMISOR Y FIBRA ÓPTICA.

Este tipo de pérdida causada por la incompatibilidad estructural de la superficie del transmisor (diodo LED o láser) con el núcleo de la fibra óptica, este tipo de pérdida es más alta cuando se utiliza una fuente de luz como el diodo LED en fibras monomodo, en cambio el láser al tener una estructura más pequeña que el núcleo de la fibra monomodo, la pérdida se vuelve relativamente baja comparado con el diodo LED. [7]

1.7.3.8 PÉRDIDA DE ACOPLAMIENTO ENTRE FIBRA ÓPTICA Y RECEPTOR.

Dada a que la superficie que detecta la luz de los dispositivos receptores es más amplia que el núcleo de los dos tipos de fibra existentes (monomodo y multimodo) esta pérdida es muy pequeña. [7]

1.7.3.9 PÉRDIDA POR INSERCIÓN.

Las pérdidas de inserción son causadas debido a la inclusión de un nuevo elemento a en enlace de fibra óptica y son medidos en decibelios (dB). Este parámetro es muy importante en el diseño de cualquier red ya que mientras más pequeño el valor de las pérdidas de inserción permitirá una mayor escalabilidad de la red. [1]

1.7.3.10 PÉRDIDA POR EMPALME.

Esta pérdida se puede presentar en varias partes del enlace, provocada por varios factores como: mala alineación lateral, mala alineación de separación, acabados imperfectos en la superficie de la fibra óptica y diferencias entre los núcleos o índices de refracción de la fibra óptica. [5]

1.8.1 PRESUPUESTO DE TIEMPO DE SUBIDA.

El presupuesto de tiempo de subida es capaz de determinar los límites de dispersión del enlace de fibra óptica. El tiempo de subida del sistema es la raíz cuadrada de las sumas de los cuadrados de los tiempos de subida de cada elemento del enlace.

$$t_{\text{sys}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i)^2} = \sqrt{(t_{\text{tx}})^2 + (t_{\text{fibra}})^2 + (t_{\text{rx}})^2} \quad (1.8.1)$$

Los tiempos mostrados en la ecuación son aquellos que afectan seriamente la velocidad de respuesta del sistema y están en escala de (ns), aunque en la ecuación 1.8.1, solo se muestran los tiempos más importantes.

El tiempo de respuesta del transmisor y el del receptor son datos que se pueden obtener en hojas de datos de distribuidores de elementos ópticos. El tiempo de subida del transmisor depende de la fuente de luz y el circuito driver del transmisor, en cambio el tiempo de subida del receptor depende del ancho de banda eléctrico de 3 dB (B_{rx}) y se puede determinar de la siguiente manera.

$$t_{rx} = \frac{350}{B_{rx}} \quad (1.8.2)$$

El tiempo de subida de la fibra depende de dos tiempos de subida los cuales son: tiempo de subida de dispersión modal (t_{rmod}) y tiempo de subida de dispersión cromática (t_{rch}), para el caso de que la fibra a usar sea mono modo el tiempo de subida de dispersión modal es despreciable.

$$t_{fibra} = \sqrt{(t_{rmod})^2 + (t_{rch})^2} \quad (1.8.3)$$

El tiempo de subida de dispersión cromática y el tiempo de subida de la dispersión modal están dados por la ecuación 1.8.4 y la ecuación 1.8.5, respectivamente.

$$t_{rch} = (D_{ch}) \cdot (\Delta\lambda) \cdot (L) \quad (1.8.4)$$

$$t_{rmod} = (D_{mod}) \cdot (L) \quad (1.8.5)$$

Donde t_{rch} y t_{rmod} están dados en (ns), $\Delta\lambda$ es el ancho espectral de la fuente en (nm), D_{CH} la dispersión cromática y D_{mod} la dispersión modal están en (ps/nm-Km), L la longitud de la fibra óptica en escala de (Km). [7]

CAPÍTULO 2.

SIMULACIÓN DE ENLACE DE RED ÓPTICA PASIVA (EPON).

En este capítulo se detallará los parámetros ópticos de cada dispositivo que conforma la red óptica pasiva, los cuales permitirán calcular el presupuesto de ancho de banda, el presupuesto de pérdidas y pérdidas totales, los enlaces a simularse están conformados por componentes de diferente fabricantes lo cual permitirá observar al usuario cuales fabricantes ofrecen componentes que permitan una red que cumpla con el ancho de banda y velocidad requerida para el diseño de una red ubicada en la urbanización Plaza Madeira.

2.1 TOPOLOGÍA A SIMULARSE.

En este proyecto se ha implementado una herramienta que permite facilitar el diseño de una red óptica pasiva Ethernet en una urbanización llamada Plaza Madeira, la cual se encuentra ubicada en la vía Pascuales-La Puntilla y no cuenta aún con una empresa que provea servicios multimedia para satisfacer las necesidades de comunicación de los habitantes de la mencionada urbanización.

Para cumplir con este propósito nos basaremos en la tesina “Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón”^[8], realizada por el Sr Ramiro Novoa y el Sr Miguel Loor.

En el documento antes mencionado se ha presentado el estudio sobre el diseño de la red EPON para esta urbanización, centrándose en la topología a usar sin describir datos reales de los componentes utilizados para una implementación real del sistema de red pasiva, detalles que hemos añadido en el presente documento para luego analizar con datos reales, proporcionados por los fabricantes, la fiabilidad de poder implementar estos esquemas en la vida real.

En la figura 2.1, se ilustra la vista aérea de la red, indicando la trayectoria del cableado de fibra óptica en la red externa desde la central de operaciones de CNT Pascuales hasta la urbanización Plaza Madeira.



Figura 2.1-Red exterior de la urbanización Plaza Madeira.^[8]

La herramienta implementada permite calcular el presupuesto de ancho de banda y presupuesto de enlace con componentes de diferentes proveedores, ya que en el estudio anterior se implementó la misma topología con componentes de la empresa TELNET.

El fin de esta simulación es tratar de cerrar el enlace con los componentes a simularse y proveer la tasa de datos que dio la implementación que utilizaba componentes TELNET. La topología cuenta con 2 OLT (línea terminal óptica), 128 ONT (terminal óptico de red), 9.04 Km de fibra óptica monomodo, 18 splitter de 1:8. La simulación va a tomar la mitad de la red, por lo tanto los componentes a utilizarse van a ser la mitad de cantidad mostrada anteriormente. En esta simulación se va a tomar el enlace de bajada y de subida, como un enlace punto a punto a un usuario.

En los esquemas propuestos se va a usar dos clases de fibra para la simulación las cuales son: fibra óptica monomodo estándar (UIT G.652) y fibra óptica cero pico de agua (UIT G.652D); se puede utilizar otras clases de fibra como la fibra de dispersión desplazada, la fibra de dispersión desplazada a cero u otro tipo de fibra usadas para la implementación de redes ópticas cuyos enlaces son mayores a 20 Km, que es la distancia máxima con cual trabaja las redes ópticas pasivas Ethernet; también se puede hacer uso de la fibra oscura para la simulación del enlace pero no existe un proveedor de servicio de telecomunicaciones que permita el uso de sus tendidos de fibra, además es un poco complicado obtener información de la clase de fibra usada en su tendido ya que pueden ser fibras usadas para otras aplicaciones.

Para esta simulación se ha planteado dos esquemas que poseen componentes mencionados en el subcapítulo 1.6.2.

2.1.1 ANÁLISIS DE ESQUEMAS PLANTEADOS EN PLAZA MADEIRA.

Los esquemas planteados para la simulación de enlaces en la urbanización Plaza Madeira, se acogen al estándar IEEE 802.3ah y usan componentes analizados y elegidos previamente por los autores de la tesina “Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón”^[8], de donde se planea usar los valores de algunos de sus parámetros para lograr la simulación tanto del enlace de

subida y bajada, además de analizar valores de ganancias, pérdidas y tasas de datos los cuales permitirían a la persona encargada de la implementación verificar si es factible utilizar los componentes usados en la simulación para dar a los suscriptores un servicio adecuado a sus necesidades.

En la tesina “Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón”^[8], solo se utilizó un esquema el cual era uniforme, dado que todos los componentes usados para la implementación de esta red óptica eran de un solo fabricante, pero los datos que proveían los fabricantes no eran suficientes para hacer un análisis de presupuesto de pérdida y presupuesto de ancho de banda, debido a esta dificultad para obtener datos de los componentes. Los dos esquemas están formados por componentes de varias empresas que proveen componentes ópticos.

En los siguientes subcapítulos se enlistan los componentes que han sido usados en cada esquema planteado para la simulación de los enlaces ópticos.

2.1.1.1 COMPONENTES DEL PRIMER ESQUEMA SIMULADO.

En la tabla 2.1, se exponen los componentes que han sido usados en el primer esquema, tomando en cuenta que solo se simula un enlace de un conjunto N=64.

Componentes	Cantidad usada en la simulación
OLT (conformado con transceptor Fiberxon)	1
ONT (conformado con transceptor Fiberxon)	1
Fibra Corning SMF-28e+	5.25 Km
Splitter Enablence	2

Tabla 2.1- .Tabla de componentes del primer esquema.

Con los componentes nombrados en la tabla 2.1, se han obtenido resultados de pérdidas, ganancias y tasas de datos, los cuales son analizados en el capítulo siguiente. En este esquema se ha usado una fibra monomodo Corning cero pico de agua, la cual permite tener un valor bajo de dispersión en las longitudes de onda usadas para el enlace de bajada, este tipo de fibra basa sus parámetros ópticos y de construcción según la recomendación de la UIT G.652D; de la que se obtuvo información importante para esta simulación, cabe aclarar que para este esquema se pudo haber utilizado otro tipo de fibra, como la fibra monomodo convencional o también llamada fibra de dispersión sin cambio (dispersion-unshifted fiber), que es muy usada en muchas redes ópticas, pero se ha usado una fibra monomodo cero pico de agua para observar cómo afectan sus parámetros de dispersión y atenuación en la simulación.

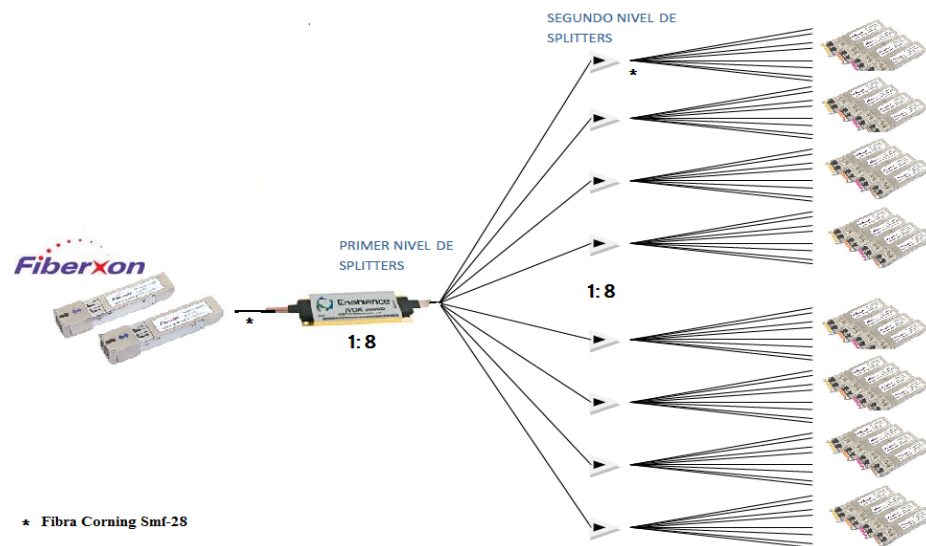


Figura 2.2-Diagrama del primer esquema.

En la figura 2.2, se observa el diagrama del primer esquema, la estructura de la red con los componentes que la conforman.

El primer esquema esta conformado por 64 enlaces ópticos con estructuras iguales, de donde solo se simula un solo enlace, que esta conformado por cuatro segmentos de fibra óptica, dos conectores, dos splitters y un empalme.

2.1.1.2 COMPONENTES DEL SEGUNDO ESQUEMA SIMULADO.

Para el segundo esquema planteado se muestra los siguientes componentes en la tabla 2.2.

Componentes	Cantidad usada en la simulación
OLT (conformado con transceptor WTD)	1
ONT (conformado con transceptor WTD)	1
Fibra Hitachi matched cladding	5.25 Km
Splitter SOPTO	2

Tabla 2.2- .Tabla de componentes del segundo esquema

De la misma manera como se ha observado en el subcapítulo 2.1.1.1, sólo se ha enlistado los componentes necesarios para la simulación de un único enlace. Pero para esta ocasión utilizamos la fibra monomodo estándar la cual es muy común en otros diseños y provee características que obedecen la recomendación UIT G.652. Con este esquema se obtuvo valores de ganancia, pérdidas y tasas de datos, los cuales permiten el análisis y su comparación con el primer esquema teniendo como objetivo, ver cual de los esquemas cumple con los requerimientos del diseño.

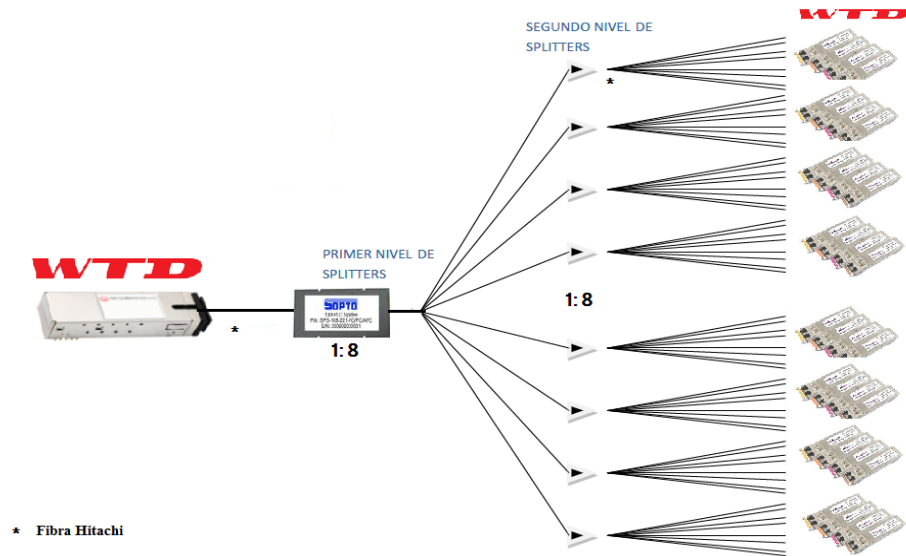


Figura 2.3-Diagrama del segundo esquema

Tal como se puede observar en la figura 2.3, se muestra el diagrama del segundo esquema con sus componentes y niveles de división de la señal óptica.

De igual manera como en el primer esquema, los 64 enlaces del segundo esquema tienen una estructura igual, dado a esto para evitar redundancias solo se simula un enlace óptico.

2.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES USADOS EN LA SIMULACIÓN.

Para la simulación de los enlaces ópticos en los dos esquemas planteados en la Plaza Madeira se ha investigado sobre componentes ópticos, que son usados para topologías de redes ópticas pasivas Ethernet o compatibles con el estándar 802.3ah. Además de considerarse que la topología implementada en esta urbanización tiene enlaces con un máximo alcance de 5.25 Km, lo cual hace necesario buscar componentes de este estándar que trabajen con enlaces de 10 Km, ya que en el mercado existen componentes que cubren enlaces de 15 Km, 20 Km, 80 Km; pero los más

comunes para topologías de redes ópticas pasivas Ethernet son componentes que trabajan con enlaces de 10 Km y 20 Km.

En esta simulación se han utilizado componentes obtenidos de empresas chinas como Fiberxon y WTD; que han producido transceptores que funcionan como OLT y ONT. Las fibras a utilizar son de las empresas Corning y Hitachi, estas empresas son famosas por la fabricación de una amplia variedad de fibras ópticas utilizadas para varias aplicaciones. Y por último, los splitters que se han utilizado para repartir la señal óptica en los dos esquemas, son de las empresas chinas SOPTO y Enablence.

2.2.1 PARÁMETROS DE COMPONENTES SIMULADOS EN EL ENLACE DE LA RED ÓPTICA PASIVA ETHERNET.

Los parámetros de los componentes que se ha utilizado para la simulación de los enlaces pueden ser iguales o estar dentro de un rango, ya que estos valores son dados por el estándar IEEE 802.3ah, el cual exige a los fabricantes de OLT, ONT, splitter y fibras ópticas que basen sus diseños con los valores que dicta el estándar.

A continuación se analizarán los parámetros de transmisores, receptores, splitter y fibras ópticas de fabricantes como WTD y Fiberxon para los transceptores usados en los OLT y ONT; SOPTO y Enablence para splitters y por último para fibras ópticas Corning e Hitachi. Los parámetros de los dispositivos fueron obtenidos de las hojas de datos de dichos productos y fueron insertados en la simulación de un enlace óptico en la urbanización Plaza Madeira.

2.2.2 ANÁLISIS DE TRANSCEPTORES DE LA LÍNEA ÓPTICA TERMINAL (OLT).

Para la simulación de los enlaces ópticos en los dos esquemas propuestos se han utilizado dos OLT de diferentes fabricantes. Estos OLTs poseen parámetros con valores similares o aproximados, esto se debe a que el

estándar IEEE 802.3ah regula los parámetro de componentes ópticos diseñados para redes EPON.

A continuación en los subcapítulos 2.2.2.1 y 2.2.2.2, se enlistan los parámetros de los OLTs que se han usado en la simulación.

2.2.2.1 EPON TRANSCEPTOR OLT WTD.

El transceptor OLT WTD RTX168 cuenta con los siguientes parámetros los cuales se muestran en la tabla 2.3 y la tabla 2.4.

Canal Transmisor	
Equipo	WTD-EPON-OLT-10Km
Ancho espectral (nm)	1
Potencia de transmisión máxima promedio (dBm)	2
Potencia de transmisión mínima promedio (dBm)	-3
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1490

Tabla 2.3- .Tabla de parámetros del transmisor del OLT marca WTD.^[10]

Canal Receptor	
Equipo	WTD-EPON-OLT-10Km
Sensitividad (dBm)	-24
Rango dinámico (dB)	21
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1310

Tabla 2.4- .Tabla de parámetros del receptor del OLT marca WTD.^[10]

Este transceptor EPON OLT RTX168 es compatible con el estándar IEEE 802.3ah 1000BASE-PX 10, lo que significa que es usado para enlaces que cubren distancias menores a 10 Km, este transceptor trabaja en

longitudes de onda de 1490 nm para el enlace de bajada y 1310 nm para enlaces de subida; estos dos valores de longitudes de onda son comunes en transceptores usados para redes pasivas ópticas Ethernet. Además de ser un componente compatible con líneas ópticas terminales diseñadas por empresas como CISCO y NORTEL.

2.2.2.2 EPON TRANSCEPTOR OLT FIBERXON.

El transceptor OLT Fiberxon FTM-9912S-SL10G de igual manera que el transceptor anteriormente analizado usa valores similares de longitud de onda y también es compatible con el estándar IEEE 802.3ah 1000BASE-PX 10. Este transceptor puede ser parte de líneas ópticas terminales (OLT) marca HUAWEI o ZTE, los cuales son los proveedores de componentes ópticos más grandes en China. [7]

La tabla 2.5 y la tabla 2.6 muestran los parámetros del OLT Fiberxon FTM-9912S-SL10G usados en la simulación.

Canal Transmisor	
Equipo	Fiberxon-EPON-OLT-10Km
Ancho espectral (nm)	0.88
Potencia de transmisión máxima promedio (dBm)	-3
Potencia de transmisión mínima promedio (dBm)	-9
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1490

Tabla 2.5- .Tabla de parámetros del transmisor del OLT marca Fiberxon.[9]

Canal Receptor	
Equipo	Fiberxon-EPON-OLT-10Km
Sensitividad (dBm)	-19.5
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1310

Tabla 2.6- .Tabla de parámetros del receptor del OLT marca Fiberxon.^[9]

Se pueden encontrar más información en la hoja de dato del componente en Anexos II.

2.2.3 ANÁLISIS DE TRANSECTOR DE TERMINAL ÓPTICO DE RED (ONT).

De la misma manera que se analizó la línea terminal óptica (OLT) en el subcapítulo 2.2.2, en esta parte se analiza el transceptor ONT que forma parte del componente ONT, que va ubicado en el domicilio del suscriptor. A continuación se va a revisar los parámetros usados para la simulación del enlace y se va a conocer información sobre los componentes de los dos fabricantes usados en la simulación.

2.2.3.1 EPON TRANSECTOR ONT WTD.

Los componentes receptores usados en la simulación son de los mismos fabricantes de los transceptores OLT; los valores de algunos parámetros se acogen al estándar, por lo que algunos de estos parámetros son similares en los dos fabricantes, ciertos fabricantes proveen el valor del rango dinámico, pero en este caso se calculó el valor del rango dinámico y se verificó su validez usando al estándar IEEE 802.3ah.

Este transceptor es compatible con el estándar IEEE 802.3ah 1000BASE-PX 10 lo cual nos permitió usarlo para la simulación del enlace, de la misma manera como el transceptor OLT, este ONT RTX169-405 es

compatible con componentes fabricados por las empresas anteriormente mencionadas.

En las tablas 2.7 y 2.8, se exponen los valores de los parámetros usados del transceptor EPON ONT RTX169-405.

Canal Transmisor	
Equipo	WTD-EPON-ONT-10Km
Ancho espectral (nm)	3
Potencia de transmisión máxima promedio (dBm)	4
Potencia de transmisión mínima promedio (dBm)	-1
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1310

Tabla 2.7- .Tabla de parámetros del transmisor del ONT marca WTD. [10]

Canal Receptor	
Equipo	WTD-EPON-ONT-10Km
Sensitividad (dBm)	-25
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1490

Tabla 2.8- .Tabla de parámetros del receptor del ONT marca WTD. [10]

Se pueden encontrar más información en la hoja de dato del componente en Anexos II.

2.2.3.2 EPON TRANSCEPTOR ONT FIBERXON.

El transceptor EPON ONT Fiberxon FTM-9912S-SL10G posee algunas características parecidas que el modelo de transceptor analizado anteriormente, los valores de potencia de salida en el transmisor varían

con respecto al modelo WTD y el rango dinámico del receptor se ha calculado, debido a que este valor no era dado por los fabricantes, pero es compatible con el estándar IEEE 802.3ah; esto permite usar sus valores para la simulación del enlace con el OLT que contiene el transceptor de la misma empresa.

En las tablas 2.9 y 2.10, se muestran los parámetros del transceptor ONT Fiberxon FTM-9912S-SL10G.

Canal Transmisor	
Equipo	Fiberxon-EPON-ONT-10Km
Ancho espectral (nm)	3.5
Potencia de transmisión máxima promedio (dBm)	-3
Potencia de transmisión mínima promedio (dBm)	-9
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1310

Tabla 2.9-.Tabla de parámetros del transmisor del ONT marca Fiberxon.^[9]

Canal Receptor	
Equipo	Fiberxon -EPON-ONT-10Km
Sensitividad (dBm)	-19.5
Tiempo de subida (ps)	260
Longitud de onda de operación típica (nm)	1490

Tabla 2.10- .Tabla de parámetros del receptor del ONT marca Fiberxon.^[9]

Se puede encontrar más información en la hoja de dato del componente en Anexos II.

2.2.4 ANÁLISIS DE SPLITTER.

En el caso del splitter sólo se usó las pérdidas de inserción, las cuales fueron valores iguales en los fabricantes SOPTO y Enablence, ya que el splitter a usarse es de 1:8, que provee una pérdida de inserción de 10.5 dB. [13][14]

Se puede encontrar más información en la hoja de dato del componente en Anexos II.

2.2.5 ANÁLISIS DE LA FIBRA ÓPTICA.

Unos de los componentes más importantes en la simulación es la fibra óptica, este elemento permite enviar datos por medios de pulsos de luz, además de lograr alcanzar anchos de banda muy grandes; para la simulación se ha empleado parámetros de dispersión y atenuación, debido a que son importantes para el cálculo del presupuesto de pérdida y el presupuesto de ancho de banda. En los enlaces de los dos esquemas planteados se han utilizado dos tipos de fibras que son comunes en el diseño de topologías tipo PON, para el primer esquema se ha empleado la fibra de cero pico de agua también conocida como la fibra UIT G. 652D, con la particularidad de que esta fibra posee un mejor desempeño en la longitud de onda de 1490 nm. Esto se debe a que esta fibra reduce la dispersión en la longitud de onda mencionada. Generalmente la dispersión es causada por impurezas al momento de producir la fibra, pero este modelo de fibra logra disminuir el impacto de la dispersión en transmisiones que involucra longitudes de onda alrededor de 1490 nm.

Para el segundo esquema se usa la fibra óptica estándar también conocida como la fibra UIT G. 652, esta fibra posee cualidades que permiten trabajar con longitudes de onda de 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm; en el caso de la simulación se emplearan los parámetros de dispersión y

atenuación en la longitudes de onda de 1310 nm y 1490 nm que son los valores con los cuales trabajan las redes ópticas pasivas Ethernet.

2.2.5.1 FIBRA CORNING SMF-28e+.

La fibra Corning SMF-28e+ es una fibra que está basada en la recomendación UIT. G 652D, lo que permite denominarla como fibra de cero pico de agua, esta fibra se usa para implementación de redes FTTH y CATV, permite trabajar con valores de dispersión y atenuación que permiten un mejor desempeño.

En la tabla 2.11, se exponen los parámetros de atenuación y dispersión en las longitudes de onda de 1310 nm y 1490 nm.

Fibra	Corning SMF-28e+
Atenuación 1310[nm] (dB/km)	0.35
Atenuación 1490[nm] (dB/km)	0.24
Dispersión 1310[nm] (ps/nm*km)	1.25
Dispersión 1490[nm] (ps/nm*km)	12.77

Tabla 2.11- .Tabla de parámetros de fibra Corning SMF-28e+. [12]

Los valores de atenuación que se han utilizado de la hoja de datos, el valor de dispersión 1490 nm que se ha calculado por medio de una fórmula que provee el fabricante y el valor de dispersión en 1310 nm que se ha obtenido mediante un gráfico dispersión vs longitud de onda, que provee la empresa Telefónica en el “Curso de introducción a la tecnología DWDM” [5], en este curso se hace un breve estudio de las fibras UIT G.652. La hoja de datos del fabricante con más información se encuentra en el Anexos II, mientras que el enlace del documento de la empresa Telefónica se encuentra en la bibliografía.

2.2.5.2 FIBRA HITACHI MATCHED CLADDING.

La fibra Hitachi matched cladding es una fibra que obedece la recomendación UIT G.652, esta recomendación se refiere a la fibra monomodo estándar, que es la más usada en la implementación de redes ópticas por su valor bajo valor en el mercado, además de ser muy usada para implementación de redes PON, la diferencia con la fibra Corning SMF-28e+, que obedece la recomendación UIT G.652D la cual posee un valor menor de dispersión en la longitud de onda situadas alrededor de 1490 nm y además de otras características de diseño que la hacen mejor que la fibra UIT G.652, la fibra estándar tiene un mercado amplio debido a su precio y sus características que permiten obtener enlaces ópticos con un buen desempeño.

Fibra	Hitachi matched cladding
Atenuación 1310[nm] (dB/km)	0.4
Atenuación 1490[nm] (dB/km)	0.35
Dispersión 1310[nm] (ps/nm*km)	3.5
Dispersión 1490[nm] (ps/nm*km)	14.90

Tabla 2.12- .Tabla de parámetros de fibra Hitachi matched cladding. [11]

En la tabla 2.12, se observan los valores de atenuación y dispersión en las longitudes de onda de 1310 nm y 1490 nm de la fibra Hitachi matched cladding.

Los valores de atenuación de la longitud de onda 1490 nm se han obtenido del documento “International communication union (ITU). Series G: Transmission System and media, Digital System and Networks”^[6], este documento analiza las recomendación que se deben tomadas en cuenta al momento de diseñar fibra óptica, el valor de dispersión de la longitud de onda 1490 nm se ha obtenido del gráfico dispersión vs longitud de onda del “Curso de introducción a la tecnología DWDM” ^[5] de la empresa Telefónica. Los valores de atenuación y

dispersión en la longitud de onda de 1310 nm han sido facilitados en la hoja de datos del fabricante, que se encuentra en el Anexo II.

2.3.1 PARÁMETROS CALCULADOS EN LA SIMULACIÓN DE ENLACE DE RED ÓPTICA PASIVA.

Para el cálculo del presupuesto de pérdidas de enlace y el presupuesto de ancho de banda para los esquemas a simularse en la urbanización Plaza Madeira, se han calculado los siguientes parámetros que se van a mencionar en los siguientes subcapítulos.

2.3.2 CÁLCULO DE GANANCIA DEL SISTEMA.

La sustracción de la sensibilidad del receptor y la potencia del transmisor da como resultado la ganancia del sistema que está en unidades de decibelios (dB). [4]

$$\text{Ganancia de sistema (dB)} = \text{Tx power(dBm)} - \text{Sensibilidad Rx(dBm)} \quad (2.3.2)$$

2.3.3 DETERMINACIÓN DE MARGEN DE SEGURIDAD.

Este parámetro determina el valor de potencia adicional que se debe inyectar al enlace óptico para contrarrestar pérdidas futuras en el enlace y se da a la adición de varios factores mencionados en la siguiente ecuación:

$$\text{Margen de seguridad(dB)} = \text{factor ambiental(dB)} + \text{factor de dispersion(dB)} + \text{factor jitter(dB)} + \text{margen de error de diseño(dB)} \quad (2.3.3)$$

El margen de seguridad es un valor seleccionable en un rango de 5 a 10 dB. [4]

2.3.4 CÁLCULO DE PÉRDIDA TOTAL POR CONECTORES.

La pérdida total por conectores en un enlace óptico se calcula mediante el producto de la pérdida producida por los conectores (este valor por lo

general es dado en las hojas de datos) y la cantidad total de conectores usados. [4]

Para la simulación de los enlaces ópticos en los dos esquemas planteados se han utilizado una pérdida total por conectores de 0.8 dB.

$$\begin{aligned} &\text{Pérdida total por conectores(dB)} \\ &= \text{Pérdida de conector(dB)} * \text{numero de conectores} \quad (2.3.4) \end{aligned}$$

2.3.5 CÁLCULO DE PÉRDIDA TOTAL POR EMPALMES.

La pérdida causada por empalmes se calcula de la misma manera que el cálculo de pérdida por conectores, la pérdida por empalme es dada por el componente que hace el empalme. [4]

El valor de pérdida por empalme que se ha usado en las simulaciones es de 0.5 dB.

$$\begin{aligned} &\text{Pérdida total por empalme(dB)} \\ &= \text{Pérdida de empalme(dB)} * \text{numero de empalme} \quad (2.3.5) \end{aligned}$$

2.3.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR INSERCIÓN.

Las pérdidas por inserción es un valor causado por el ingreso de componentes al enlace óptico y se lo ha calculado de esta manera.

$$\begin{aligned} &\text{Pérdida por inserción(dB)} \\ &= (\text{numero de inserciones}) * \left(\frac{\text{pérdida por inserción}}{\text{numero de puertos}} \right) \quad (2.3.6) \end{aligned}$$

2.3.7 CÁLCULO DE PÉRDIDA POR LA FIBRA ÓPTICA.

Para calcular la pérdida causada por la fibra óptica dentro del análisis de presupuesto de enlace, se necesita el parámetro atenuación que provee el fabricante y la longitud de la fibra utilizada. [4]

$$\begin{aligned} &\text{Pérdida de la fibra(dB)} \\ &= \text{atenuación del cable(dB/km)} * \text{longitud de la fibra(km)} \quad (2.3.7) \end{aligned}$$

2.3.8 CÁLCULO DE NIVEL DE SEÑAL RECIBIDA.

Este parámetro permite al diseñador obtener un valor estimado de la potencia que va a ser capaz de recibir el dispositivo receptor.

$$\begin{aligned} \text{Nivel de señal recibida (dBm)} \\ = \text{potencia del transmisor (dBm)} - \text{pérdida de la fibra (dB)} \\ - \text{pérdida de conectores (dB)} - \text{pérdida de empalme (dB)} \\ - \text{otras pérdidas (dB)} \quad (2.3.8) \end{aligned}$$

2.3.9 VERIFICACIÓN DE RANGO DINÁMICO.

La verificación del rango dinámico permite al diseñador tomar en cuenta los niveles de potencia mínimos que detecta el receptor para que el enlace óptico funcione en un estado óptimo. [4]

$$\begin{aligned} \text{Nivel de señal recibida (dBm)} \\ < \text{Sensibilidad del receptor (dBm)} + \text{Rango dinámico (dB)} \quad (2.3.9) \end{aligned}$$

2.3.10 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE PÉRDIDA DE ENLACE.

El cálculo de este factor indica las pérdidas permitidas desde el inicio del enlace hasta el final.

$$\begin{aligned} \text{Presupuesto de pérdida de enlace (dB)} = \text{ganancia del sistema (dB)} - \\ \text{margen de seguridad (dB)} \quad (2.3.10) \end{aligned}$$

2.3.11 TIEMPO DE SUBIDA DE LA FIBRA ÓPTICA.

Este valor depende de dos parámetros analizados anteriormente en el capítulo 1, los cuales son: tiempo de subida de la dispersión cromática representada en la ecuación (1.8.4) y tiempo de subida de la dispersión modal que representa la ecuación (1.8.5). Para las fibras monomodo que se han utilizado en la simulación, el parámetro de tiempo de subida de dispersión modal es cero y el tiempo de subida de la fibra solo depende del tiempo de subida cromática. [4]

2.3.12 TIEMPO DE SUBIDA DEL SISTEMA.

El tiempo de subida del sistema proporciona el tiempo de respuesta que posee el enlace, lo que permite saber cuánto es la velocidad total del enlace. Este parámetro depende de tres variables que son: el tiempo de subida del transmisor, el tiempo de subida de la fibra y el tiempo de subida del receptor. La ecuación del tiempo de subida del sistema corresponde a la ecuación (1.8.1).

2.3.13 TASA DE DATOS DEL SISTEMA.

Para calcular el valor máximo de tasa de datos que puede dar el enlace se lo calcula con la ecuación (2.3.13).

$$R = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}} \quad (2.3.13)$$

La ecuación (2.3.13) provee una velocidad con una codificación no retorno a cero (NRZ), si se divide para dos el valor proporcionado por la ecuación (2.3.13), se consigue un valor de tasa de una codificación retorno a cero (RZ). Aunque el valor de tasa dado por la codificación NRZ es el doble que la codificación RZ, la codificación NRZ sufre un gran impacto por la interferencia intersimbólica. [5]

Una vez explicado los parámetros calculados por la herramienta elaborada en MATLAB; en el subcapítulo 2.4.1 se indica cómo funciona la herramienta implementada.

2.4.1 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO DE MATLAB (GUIDE).

Matlab Guide es un entorno de programación visual que ofrece Matlab para poder realizar y ejecutar programas de Simulación a medida de forma simple, tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++.

En este entorno de programación se ha desarrollado este proyecto, por el cual ha sido necesario crear un código principal con extensión .m y un entorno gráfico realizado en Guide con extensión .fig. Las dos partes están unidas a través de las subrutinas callback que es la que realiza la comunicación entre ambas.

El programa se ha definido en 4 ventanas y a continuación se enlista cada ventana que conforma la herramienta:

- Portada.
- Menú.
- Resultados esquema 1.
- Resultados esquema 2.

2.4.1.1 PORTADA.

En esta primera ventana denominada Portada, se presenta el nombre de la universidad de donde pertenecen los estudiantes que han elaborado la herramienta y también el título del proyecto, además esta pantalla posee el botón “ENTRAR” que permite continuar a la siguiente ventana.



Figura 2.4-Portada del programa.

En la figura 2.4, se ilustra la primera ventana de la herramienta.

2.4.1.2 MENÚ.

La ventana Menú, es la segunda pantalla del programa y se muestra inmediatamente después de hacer click en el botón “ENTRAR” en la ventana Portada.

Este es el cuerpo principal de la herramienta, en el que se presenta una introducción general del programa y se mencionan los gráficos y cálculos que se desarrollan en el programa. A continuación se enlista las funciones que desarrolla la herramienta.

- 1)** Cálculo de presupuesto de pérdidas, ganancia del sistema y pérdidas totales del enlace.
- 2)** Gráfico de Potencia vs. Distancia para enlace de bajada y subida.
- 3)** Estimación de la tasa de datos para el enlace de bajada y de subida.
- 4)** Cálculo de presupuesto de ancho de banda (basado en tiempo de subida).

En la ventana Menú también se presenta un gráfico de la red a simular que empieza desde la central de operaciones Pascuales (OLT) hasta la urbanización Plaza Madeira, donde se encuentran los abonados (ONU), así como también un gráfico explicativo del ramal utilizado para la simulación que consta de un OLT, 2 niveles de splitter y el ONU respectivo.

Es en esta ventana donde se selecciona un esquema a simular dando 2 opciones para que el usuario escoja.

Estos esquemas fueron explicados en el subcapítulo 2.1.1, con cada uno de sus componentes.

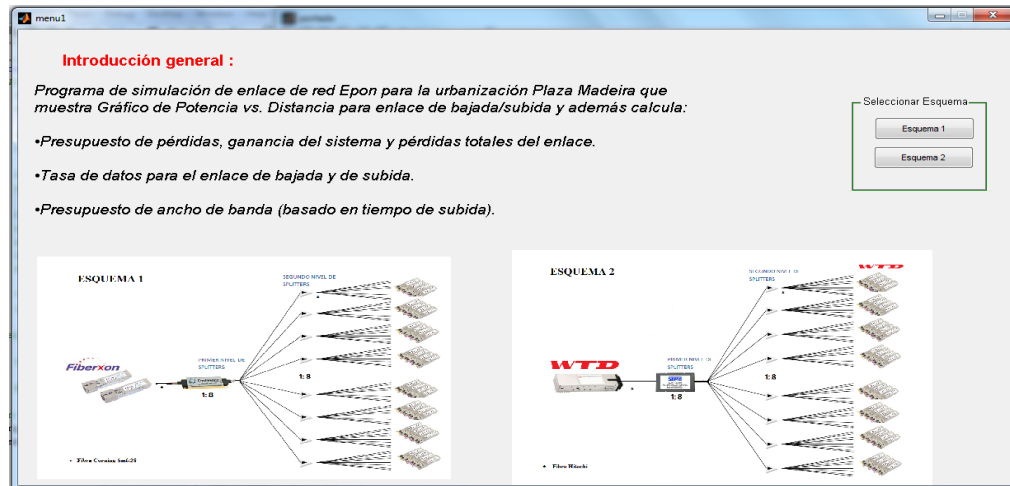


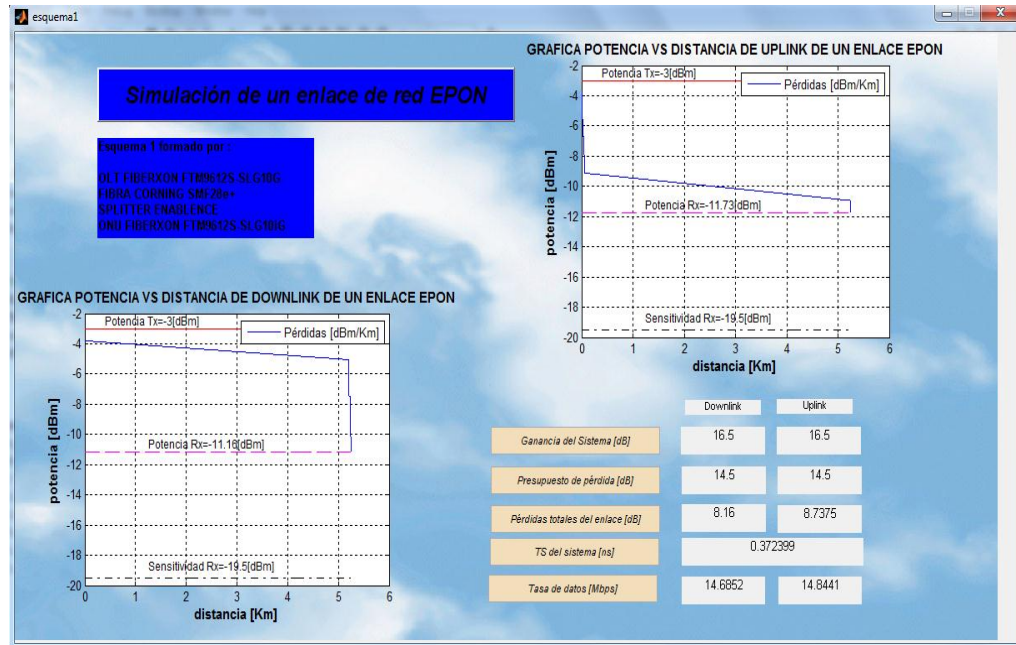
Figura 2.5-Menu del programa.

Tal como se observa en la figura 2.5, la ventana Menú muestra los gráficos de los esquemas propuestos y una breve información de los cálculos que desarrolla la herramienta.

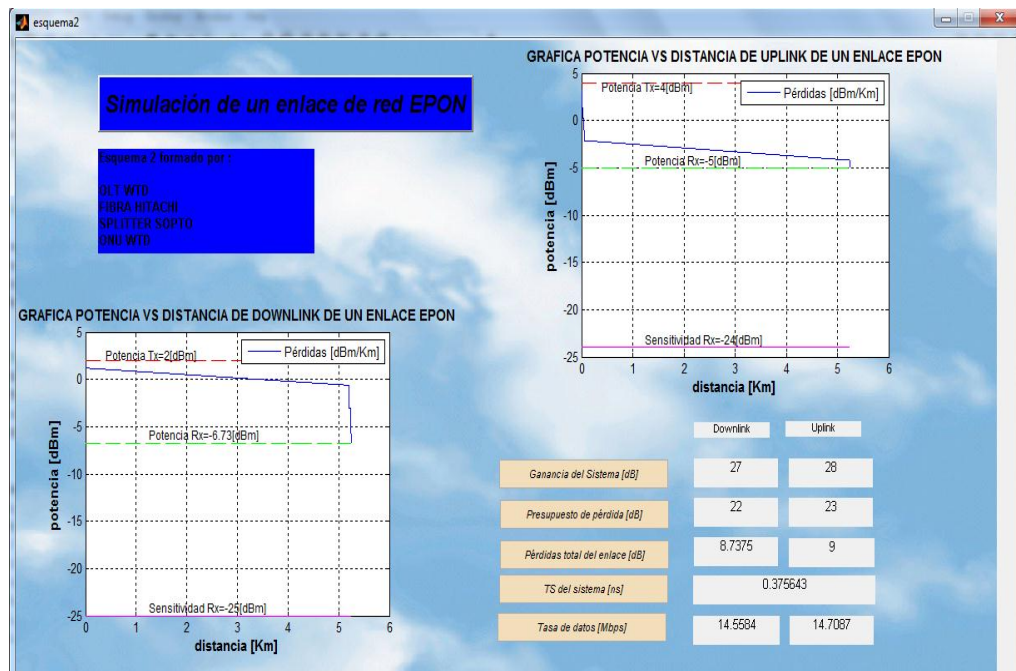
2.4.1.3 RESULTADO DE ESQUEMA 1 Y 2.

Esta es la última ventana del entorno gráfico, en esta ventana se muestra todos los datos de la red a simular así como sus componentes por fabricante. Aquí se puede observar de manera gráfica el comportamiento de la red en base a los parámetros emitidos por los fabricantes de los componentes que conforman la red.

En la figura 2.6, se observa los componentes del esquema, los parámetros calculados en la simulación y por ultimo los gráficos de enlace de subida y bajada.



(a)



(b)

Figura 2.6-Resultados de la simulación de los esquemas (a) esquema 1 y (b) esquema 2.

Los datos obtenidos en esta simulación son muy útiles para la implementación de uno de los dos esquemas planteados en Plaza Madeira, ya a que se usan los parámetros emitidos por fabricantes, no obstante se ha estimado la distancia promedio entre el segundo nivel de splitter y los respectivos ONU de cada abonado.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN.

Este capítulo se enfoca en el análisis de los resultados obtenidos de la simulación de los esquemas planteados y brevemente analizados en el capítulo 2; ya que al evaluar y comparar estos resultados se podrá elegir el esquema más adecuado para la urbanización Plaza Madeira. Se empezará analizando y evaluando los resultados de ganancia de sistema, pérdidas, presupuesto de enlace, tasa de datos, tiempos de subida del sistema y los gráficos de Potencia vs Distancia en cada esquema propuesto, se continuará con un análisis comparativo de los resultados de los dos esquemas, lo que permitirá elegir el apropiado para la urbanización. Finalmente, se analizará si es factible implementar estos esquemas en la vida real.

3.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE ESQUEMAS.

El análisis y la evaluación de los valores obtenidos de ganancia, pérdidas, presupuesto de enlace, tasas de datos y tiempos de subida de sistema, permiten al usuario conocer como estos valores afectan el diseño de una red óptica en la vida real.

Los valores de ganancia, pérdidas, tasas de datos y tiempos de subida analizados en cada esquema serán comparados para observar cual es la red que es capaz de soportar más pérdidas y ofrecer una mayor tasa de datos por suscriptor, tomando en cuenta una expansión de la red o la adición de empalmes o componentes que generan más pérdidas en remplazo de otro.

3.1.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA GANANCIA DE SISTEMA DEL PRIMER ESQUEMA.

Para este esquema se ha obtenido una ganancia de sistema de 16.5 dB para el enlace de subida y el enlace de bajada, lo que indica que cada enlace óptico del primer esquema puede ofrecer una ganancia de sistema de 16.5 dB.

Las ganancia de sistema para redes EPON que cubren 10 Km, comúnmente son mayores o iguales a 20 dB y se debe a que los valores fijados por el estándar IEEE 802.3ah para sensibilidad del receptor son menor o iguales a -24 dBm y para la potencia del transmisor en OLTs y ONTs, los valores oscilan entre 4 dBm y -3 dBm, cabe recalcar que la ganancia de sistema es un parámetro que depende de la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor. A pesar de que la ganancia de sistema que se ha obtenido es menor que 20 dB, los enlaces ópticos del primer esquema pueden funcionar perfectamente y esto se debe a que las pérdidas totales que se han obtenido son inferiores a la ganancia de sistema que se ha obtenido en la simulación.

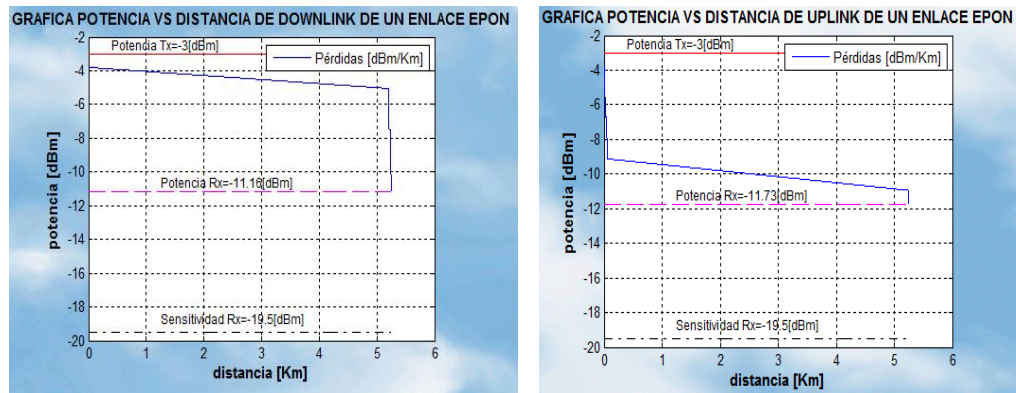
3.1.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES DE PÉRDIDAS DEL PRIMER ESQUEMA.

En esta simulación se ha calculado la pérdida total que se generan en los enlaces de subida y de bajada del primer esquema, los cuales son de 8.16 dB para el enlace de bajada y 8.73 dB para el enlace de subida. Estos

valores se deben a la adición de pérdidas por empalmes, pérdidas por conectores, pérdidas de inserción y pérdidas causadas por la atenuación.

Las pérdidas totales que se han obtenido en los enlaces de subida y de bajada no son altas, pero pueden ser un factor crítico a futuro en el caso de una expansión de la red, ya que si las pérdidas sobrepasan el presupuesto de pérdida del enlace y el margen de seguridad, existe la posibilidad de que los enlaces dejen de funcionar correctamente.

A continuación en la figura 3.1 (a) y la figura 3.1 (b), se observa las gráficas de Potencia vs Distancia del enlace de subida y del enlace de bajada en el primer esquema. Las dos gráficas se encargan de mostrar como la potencia del transmisor se degrada por las perdidas a medida que se incrementa la distancia hasta llegar al receptor, además de mostrar la potencia del transmisor, potencia recibida por el receptor y sensibilidad del receptor.



(a)

(b)

Figura 3.1- Gráficos de potencia vs distancia del primer esquema (a) enlace de bajada y (b) enlace de subida.

La traza de línea azul denominada Pérdidas con unidades de (dBm/Km), se ha dividido en cuatro secciones que son de: 0-5.20 Km, 5.20-5.23 Km, 5.23-5.24 Km y de 5.24-5.25 Km. Los tramos de 5.20-5.23 Km y de 5.23-5.24 Km, son aquellos que producen más agotamiento a la señal óptica

transmitida, debido a que en estos tramos se introducen las pérdidas por inserción causada por los splitters, cabe mencionar que dentro del enlace, las pérdidas de inserción son mayores a las otras pérdidas. En las figuras 3.1(a) y 3.1(b), se muestran unos escalones en la traza azul, estos escalones representan las pérdidas de inserción en los tramos de 5.20-5.23 Km y de 5.23-5.24 Km.

3.1.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE PÉRDIDA DE ENLACE DEL PRIMER ESQUEMA.

El presupuesto de pérdida de enlace es un parámetro indispensable que debe ser analizado seriamente ya que este valor permite conocer si el enlace es capaz de funcionar a pesar de las pérdidas totales que se presenten por motivos antes mencionados. El valor del presupuesto de pérdida de enlace para el primer esquema es de 14.5 dB tanto como para el enlace de subida y el enlace de bajada, con este valor de presupuesto de pérdida de enlace que se ha obtenido y las pérdidas totales que son: 8.16 dB para el enlace de bajada y 8.73 dB para el enlace de subida; se ha podido verificar que el enlace óptico puede soportar aproximadamente 6 dB de pérdidas adicionales sin contar los 2 dB de margen de seguridad que en total son 8 dB que pueden ser utilizados en un tercer nivel de splitter para expandir la red.

3.1.4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE TASAS DE DATOS Y TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL PRIMER ESQUEMA.

La tasa de datos es un parámetro vital para el diseño de una red óptica, debido a que es la información que más interés tiene el usuario común por sus necesidades de conexión, descarga y subida de contenido multimedia.

Por lo general las redes ópticas al tener un gran ancho de banda, permiten tener velocidades altas que satisfacen las necesidades de los

abonados para que estos puedan utilizar servicios que requieran una tasa de datos que sea mayor a los 10 Mbps, como descarga de películas o streaming de video entre otros. Teniendo en cuenta que la media de conexión en el país de un usuario es de 1,2 Mbps y esta tasa ya satisface la mayoría de sus requerimientos, se ha considerado que esta tasa obtenida en el esquema será de buena aceptación por parte de los suscriptores.

Como resultado de la simulación se ha obtenido un valor de tasa de datos de enlace de bajada 14.68 Mbps y de enlace de subida de 14.84 Mbps, estos valores representan las tasas de datos de bajada y subida de un enlace óptico dirigido a un abonado y dado a que el ancho de banda se reparte de manera equitativa en la redes EPON los abonados restantes obtendrán valores de tasas de datos iguales a los valores obtenidos a en la simulación.

El tiempo de respuesta del sistema del primer esquema es de 0.37 ns, lo que indica que estos enlaces pueden soportar tráfico en el orden de los Gbps, lo cual es factible para una red óptica pasiva Ethernet.

3.2.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA GANANCIA DE SISTEMA DEL SEGUNDO ESQUEMA.

Al igual que en el primer esquema, el valor que se ha obtenido de ganancia para el enlace de bajada es 27 dB y 28 dB para el enlace de subida. Como se menciona en el subcapítulo 3.1.1, los valores de ganancia de sistema en los enlaces de redes EPON que cubren 10 Km son mayores o iguales 20 dB, en este esquema las ganancias de sistema superan los 20 dB, lo que permite soportar más pérdidas y obtener un presupuesto de pérdida de enlace mejor al del primer esquema, cabe recalcar que la ganancia de sistema está relacionada directamente con el presupuesto de pérdida de enlace.

3.2.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE VALORES DE PÉRDIDAS DEL SEGUNDO ESQUEMA.

Las pérdidas totales que se han obtenido en la simulación de los enlaces del segundo esquema son de 8.73 dB para el enlace de bajada y 9 dB para el enlace de subida, cabe recalcar que las pérdidas de empalme y conectores se mantuvieron fijas para el segundo esquema. En este esquema las pérdidas totales no causan mucha molestia en los enlaces del segundo esquema y esto se debe a que la ganancia de sistema es tres veces mayor a la pérdida total en cada enlace, lo cual permite asegurarnos que los enlaces funcionan a la perfección.

En la figura 3.2 (a) y la figura 3.2 (b), se muestran las graficas Potencia vs Distancia del enlace de subida y el enlace de bajada. En estas gráficas tanto como para el enlace de subida y para el enlace de bajada, la potencia óptica no sufre mucha degradación como en el primer esquema y esto se debe a que la potencia óptica disponible en el enlace o también llamada ganancia de sistema es lo suficientemente alta comparada con las pérdidas, incluso las pérdidas de inserción en los tramos de 5.20-5.23 Km y de 5.23-5.24 Km, que son los tramos que generan mas pérdidas en el enlace, no causan un gran impacto en este esquema, lo cual se demuestra observando los pequeños escalones causados por la pérdida de inserción.

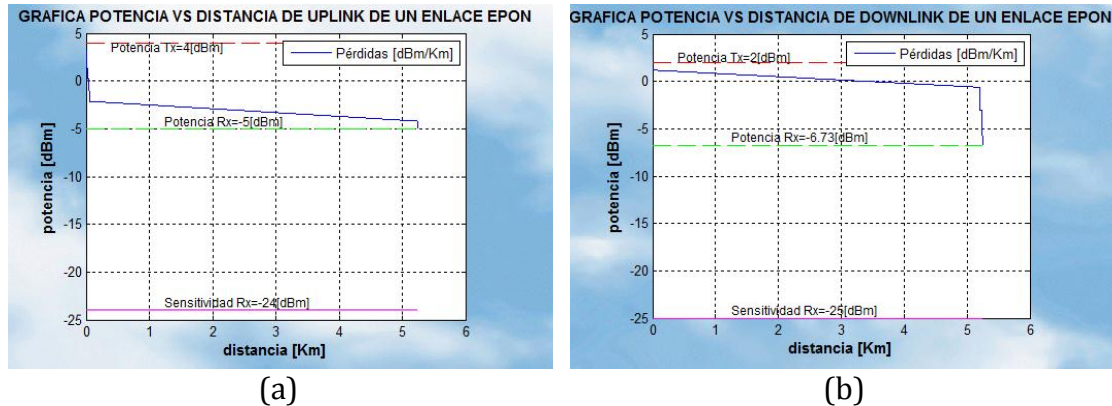


Figura 3.2- Gráficos de potencia vs distancia del segundo esquema (a) enlace de subida y (b) enlace de bajada.

3.2.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO DE ENLACE DEL SEGUNDO ESQUEMA.

De la misma manera como se analizó el presupuesto de enlace del primer esquema es vital hacer el mismo análisis del segundo esquema, ya que esto permite saber la fiabilidad del enlace. Los valores que se ha obtenido para el segundo esquema es de 22 dB para el enlace de bajada y 23 dB para el enlace de subida, lo que permite afirmar la fiabilidad del enlace del esquema simulado, ya que existe un margen aproximado de 13 dB entre las pérdidas totales y el presupuesto de enlace; adicionando el margen de seguridad de 5 dB este valor se convierte en 18 dB. Este margen de 18 dB permite al enlace funcionar sin ningún problema y soportar el doble de pérdidas, además de permitir dos o tres niveles de splitters adicionales.

3.2.4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE TASAS DE DATOS Y TIEMPO DE RESPUESTA DEL SISTEMA DEL SEGUNDO ESQUEMA.

El valor de tasa de datos que se ha obtenido en la simulación del enlace óptico en el segundo esquema es de 14.70 Mbps para el enlace de subida y de 14.55 Mbps para el enlace de bajada de un solo abonado, es

importante recalcar que los 63 enlaces restantes poseen tasas de datos iguales debido a que el ancho de banda en una red EPON se reparte equitativamente para todos los usuarios.

Los valores de tasas de datos que se han obtenido son muy cercanos a los del primer esquema, esta similitud se debe a que en los dos esquemas los tiempos de respuestas de los transmisores y receptores son iguales y también mayores al tiempo de respuesta de la fibra, lo que provoca que el tiempo de respuesta de la fibra no cause un gran cambio al tiempo total de respuesta. A pesar de las similitudes de tasas de datos con el primer esquema, lo importante es que los valores que se han obtenido en la simulación puedan satisfacer al abonado.

La respuesta del sistema que se ha obtenido en la simulación del enlace del segundo esquema es de 0.37 ns, lo que ha permitido reconocer que los enlaces de esta topología son capaces de soportar tráfico de Gbps.

3.3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS.

La comparación de estos valores ha permitido seleccionar la mejor opción para la red óptica diseñada para la urbanización Plaza Madeira, los valores anteriormente analizados dan información de la capacidad de los enlaces ópticos para soportar pérdidas, además de saber el valor límite de ganancias generadas por los componentes transmisores y receptores de los esquemas.

Los valores de pérdidas totales, tiempos de respuesta de sistema y tasas de datos en los enlaces de ambos esquemas son parecidos, pero la ganancia de sistema y presupuesto de pérdida del enlace del segundo esquema es superior al primero. La anterior comparación permite seleccionar al segundo esquema como la mejor opción para la urbanización, ya que posee enlaces con una ganancia de sistema que supera por 11.5 dB a la ganancia de sistema de los enlaces del primer

esquema, además la diferencia de presupuesto de pérdidas de enlace del segundo esquema es superior por 8.5 dB al presupuesto de pérdidas del primer esquema; lo que hace que el segundo esquema sea capaz de soportar más pérdidas a futuro, causando una mayor flexibilidad y capacidad de admitir mas abonados que el primer esquema. A pesar de la diferencia de ganancia y presupuesto de pérdida entre los dos esquemas, estos ofrecen una tasa de datos promedio de 14.61 Mbps para el enlace de bajada y de 14.68 Mbps para el enlace de subida, lo cual permite a los suscriptores disfrutar de diversos servicios multimedia, ya que las empresas de telecomunicaciones como: CNT y TV CABLE, que proveen servicios multimedia a urbanizaciones aledañas a Plaza Madeira ofrecen tasas de datos menores a 4 Mbps.

3.3.2 VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ESQUEMAS EN LA VIDA REAL.

Estos esquemas pueden ser implementados debido a que cumplen los requerimientos de diseño de una red EPON y a su vez cumple las expectativas del usuario promedio que busca tener un ancho de banda que supla sus necesidades multimedia tanto para subir o descargar archivos hacia y desde la web.

Las redes EPON se caracterizan por ser más económicas que las otras redes PON, todos los componentes usados en la simulación están disponibles en el mercado y son menos costosos que los componentes que utilizan las otras redes pasivas, las cuales trabajan con el protocolo ATM (Modo de transferencia asíncrona). Los transceptores que se han utilizado en la simulación son compatibles con muchos OLT y ONT de varios fabricantes en el mercado que se dedican a la comercialización del chasis entero. Las fibras ópticas que han sido utilizadas son fibras de marcas mundialmente conocidas, por lo tanto su adquisición no es una tarea complicada, aunque en el mercado pueden existir fibras ópticas con

mejores características a las que han sido utilizadas a la simulación. De igual manera los splitters pueden ser de una marca diferente a las que se ha usado y esto se debe a que los valores de pérdidas de inserción suelen ser parecidas en casi todos los splitters.

Los enlaces de los esquemas que se han simulado utilizan valores típicos provenientes de las hojas de datos de los proveedores de los componentes, causando que los resultados de la simulación se aproximen a la realidad.

3.3.3 FLEXIBILIDAD Y ESCALABILIDAD DE LOS ESQUEMAS.

La escalabilidad es la propiedad deseable de un sistema, una red o un proceso, que indica su habilidad para extender el margen de operaciones sin perder calidad, o bien manejar el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida. Esto significa que el sistema esta preparado para crecer sin perder calidad en los servicios ofrecidos.

Gracias a los resultados obtenidos en cuanto a tasa de datos se refiere y a la topología árbol rama para el enlace de red, se puede afirmar que este sistema es escalable por lo que se puede expandir para proveer de servicios multimedia a una etapa adicional a la simulada en este estudio, ya que sólo se ha utilizado únicamente una línea óptica terminal (OLT) para 64 usuarios, los cuales pueden recibir una tasa de datos promedio de 14.61 Mbps en el enlace de bajada y 14.68 en el enlace de subida, permitiéndoles obtener servicios de televisión digital, internet y telefonía, se podría agregar nuevos suscriptores, pero el costo de esto sería la reducción del ancho de banda para cada usuario. Lo más recomendable es añadir otro OLT para proveer del servicio a 64 suscriptores más, teniendo un total de 128 suscriptores con tasas de datos iguales a las obtenidas en la simulación.

3.3.4 VELOCIDAD DE DATOS DIRIGIDA AL SUSCRIPTOR.

Una vez que se ha analizado los valores de tasas de datos obtenidos en la simulación de los enlaces de los dos esquemas propuestos, se puede afirmar que ambos esquemas pueden proveer de la velocidad suficiente para satisfacer las necesidades de los suscriptores, ya que en ambas topologías las velocidades de datos fueron un promedio de 14.61 Mbps para el enlace de bajada y 14.68 Mbps para el enlace de subida, dado que las redes ópticas pasivas son punto a multipunto para el enlace de bajada y punto a punto en el enlace de subida, las velocidades promedio antes mencionadas para los enlaces de subida y bajada son valores que reciben cada uno de los 64 usuarios que conforman la red óptica pasiva Ethernet.

Es necesario aclarar que el ancho de banda no es 1.25 Gbps en el enlace de bajada y de subida como dice el estándar 802.3ah, en realidad es menor a 1 Gbps, ya que 0.25 Gbps consume la codificación 8b/10b y los encabezados de las tramas consumen también una pequeña porción del ancho de banda.

CONCLUSIONES.

- 1) Después del desarrollo de la herramienta para la simulación de los enlaces ópticos de los esquemas planteados para la urbanización Plaza Madeira, se puede concluir que ambos esquemas pueden implementarse en la vida real, ya que la información que provee la herramienta es muy útil para el diseño de nuevas etapas dentro de la red óptica en la urbanización Plaza Madeira.
- 2) Los dos esquemas que se han planteado para la urbanización Plaza Madeira, cumplen con proveer una tasa de datos superior a 14 Mbps por abonado, superando la tasa de datos promedio de proveedores que poseen infraestructura para ofrecer servicios multimedia a la urbanización.
- 3) También se puede concluir, que debido al comportamiento de las redes ópticas pasivas Ethernet, la expansión de una etapa adicional de splitters en los esquemas, causara una disminución considerable de la tasa de datos para los suscriptores, debido a que el ancho de banda se dividirá para proveer el servicio a los nuevos abonados.
- 4) La información que se ha utilizado para la simulación de los enlaces ópticos puede ser utilizada para proyectos futuros, los cuales involucren estudios de la capa de enlace de datos de una red óptica pasiva Ethernet.
- 5) La herramienta para simular enlaces ópticos dentro de los esquemas propuestos sólo es capaz de simular un enlace óptico en toda la red y esto se ha hecho para evitar redundancias, debido a que todos los enlaces dirigidos a los 63 suscriptores restantes poseen estructuras iguales y asumiendo que la distancia entre OLT y ONT en cada enlace es igual.

- 6) También se puede concluir que al simular los enlaces de la red óptica pasiva Ethernet para la urbanización Plaza Madeira, la potencia de la señal óptica que llega a los componentes receptores esta dentro de lo valores de potencia permitidos por los receptores, lo que evita que los ONTs reciban la señal óptica distorsionada.

- 7) Finalmente, todos los transceptores que se han utilizado en la simulación trabajan con una sensibilidad que proveen una tasa de error de bit (BER) de 1×10^{-12} , lo que asegura que los enlaces funcionaran con tasas de datos en el orden de los Gbps.

RECOMENDACIONES.

- 1) Se recomienda usar transceptores los cuales tengan características ópticas que obedezcan a el estándar IEEE 802.3ah, ya que el estándar IEEE 802.3ah puede ser de gran ayuda, debido a que existe la probabilidad de que la hoja de datos del transceptor a utilizarse no contenga toda la información necesaria para llevar a cabo la simulación.

- 2) Es recomendable usar curvas, ecuaciones y valores de simulaciones o experimentos sobre estudios de los componentes que conforman una red FTTH, ya que ciertas hojas de datos no proveen los datos necesarios para poder calcular todos los parámetros necesarios en la simulación.

- 3) El programa implementado solo calcula los presupuestos de enlace y el presupuesto de ancho de banda de los dos esquemas, no contiene un algoritmo capaz de manipular la potencia transmitida la cual depende de la distancia del proveedor al cliente, ya que se procedió a utilizar la potencia máxima para esta simulación; además de aclarar que este proyecto sólo se basa en la capa física del modelo OSI y no en las capas superiores.

ANEXOS

ANEXO I

CÓDIGO DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA EN RED EPON.

INTERFAZ GRÁFICA DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE RED EPON.

Para este propósito se utilizó la herramienta Guide proporcionada por Matlab edición 7.8.0 (R2009a) y como núcleo central el código presupuesto.m creado en el editor del mencionado programa.

CÓDIGO DE PORTADA

```
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @portada_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @portada_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before portada is made visible.
function portada_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
    clc;
    a=imread('fondo.jpg'); %leo el archivo de imagen de fondo que quiero
    axes(handles.axes1) % especifico la dirección del axes que deseo llenar con la
    imagen
    image(a)% coloco la imagen en cuestión
    axis off;
    handles.output = hObject;

    % Update handles structure
    guidata(hObject, handles);

    % UIWAIT makes portada wait for user response (see UIRESUME)
    % uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
```

```

function varargout = portada_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
menu1; % --- Ejecuto el programa menu1.m que da paso a la siguiente ventana

% --- Se ejecuta cuando se intenta cerrar la ventana de portada.
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('¿Desea salir del programa?', 'SALIR', 'SI', 'NO', 'NO');
if strcmp (opc, 'NO')
    return;
end
delete(hObject);

MENU 1
% --- Ejecuta esto apenas se abre la ventana.
function menu1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
clc;
a=imread('esquema_2.png'); %leo el archivo de imagen del esquema 2
axes(handles.axes1) % especifico la dirección del axes que deseo llenar con la
imagen
image(a) % coloco la imagen en cuestión
axis off;
f=imread('esquema_1.png');
    axes(handles.axes2)
    image(f)
    axis off
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = menu1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

% --- Ejecuta al presionar el botón esquema 1
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
esquema1; % --- Muestra tercera pantalla con resultados de simular el esquema
propuesto

% --- Ejecuto al presionar el botón esquema 2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

esquema2; % --- Muestra tercera pantalla con resultados de simular el esquema propuesto

ESQUEMA 1 Y 2.

En esta parte del programa se hace uso del código principal llamado presupuesto.m y cuya función principal se muestra a continuación:

```
function esquema1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
clc;
a=imread('fondo1.jpg'); %leo el archivo de imagen de fondo que quiero
axes(handles.axes1) % especifico la dirección del axes que deseo llenar con la
imagen
image(a)% coloco la imagen en cuestión
axis off;
```

```
%código a ejecutarse apenas se abra la ventana de esquema 1
%parámetros de OLT marca FIBERXON modelo FTM-9612S-SLG10G
sigmalambOLT=0.88; %ancho del pulso de luz
PtxFBXmin=-6;%potencia mínima promedio dBm
PtxFBXmax=-3;%potencia máxima promedio dBm
SXTX=-19.5; % sensibilidad del receptor OLT
TRtxOLT=260*10^-12; % tiempo de subida de transmisor OLT
TRrxOLT=260*10^-12; %tiempo de subida del receptor OLT
```

```
%parámetros de ONU marca FIBERXON modelo FTM-9612S-SL10iG
sigmalambONU=3.5; %ancho espectral del pulso
PTRXFBXmax=-3; %potencia máxima de transmisión del ONU
PTRXFBXmin=-6; %potencia min de transmisión del ONU
SrxFBX=-19.5; % sensibilidad del ONU
TRrxONU=260*10^-12; % tiempo de subida del receptor
TRtxONU=260*10^-12; %tiempo de subida del transmisor
```

```
%parámetros de fibra Corning SMF-28e+ fibra con pico de agua bajo la cual
%esta bajo la recomendación de la ITU. G 652D
atenuacion1=0.24; %atenuación en la longitud de onda 1490nm
atenuacion2=0.35; %atenuación en la longitud de onda 1310nm
Dchr1490=12.77*10^-12;%se uso ecuación proveniente la hoja de datos de la
fibra Corning SMF-28e+ (dispersión en 1490nm)
Dchr1310=1.25*10^-12;% dispersión para longitud de onda 1310nm sacado de
articulo de la empresa telefónica (MOVISTAR) que trata sobre dispersión en
fibras de la recomendación ITU.G652
```

```
%parámetros de splitter marca Enablence modelo apspl
PERDincer=4.8; % Pérdidas de inserción por splitter 1:8
```

```

%variables globales
x=linspace(0,5.25,1000);
Ptx= PtxFBXmax; % potencia del tx máxima en la fibra en dBm
RXDYN=PtxFBXmax-SrxFBX; % rango dinámico en dB para enlace de bajada.
RXDYN2=PTRXFBXmax-SXTX; % rango dinámico en dB para enlace de subida.
lcon= 0.8; %pérdida por conector en dB
ls= 0.5; % pérdida de empalme en dB (empalme mecánico)
Ncon= 2; % numero de conectores
Ns= 1; % numero de empalmes
Longf= 5.25; % longitud de sección de la fibra en Km

```

```

%cálculo de los parámetros para el presupuesto de enlace.
%cálculo para enlace de bajada.
Ls= ls*Ns; %pérdida total por empalme
Lcon=lcon*Ncon; %pérdida total por conector
Lfibra1=Longf*atenuacion1; %pérdida total de la fibra
MargSec=2; %margen de seguridad en dB
Prx1=Ptx-Lfibra1-Ls-Lcon-PERDincer;% potencia del receptor
Sg1=Ptx-SrxFBX; % ganancia del sistema
LB1=Sg1-MargSec; %presupuesto de pérdida
perdtot1=Lfibra1+Lcon+Ls+PERDincer;% pérdida total del enlace

```

```

fprintf('la potencia del receptor es: %g dB \n\n',Prx1);
fprintf('la ganancia del sistema es: %g dB \n\n',Sg1);
fprintf('el rango dinámico es: %g dB \n\n',RXDYN);
fprintf('la pérdida por conector es: %g dB \n\n',Lcon);
fprintf('el margen de seguridad es: %g dB \n\n',MargSec);
fprintf('el presupuesto de pérdida es: %g dB \n\n',LB1);
fprintf('la pérdida total de la fibra es: %g dB\n\n',Lfibra1);
fprintf('la pérdida total de enlace: %g dB \n\n',perdtot1);
set(handles.text3,'String',Sg1);
set(handles.text4,'String',LB1);
set(handles.text5,'String',perdtot1);

```

```

% cálculo para enlace de subida
Lfibra2=Longf*atenuacion2; %pérdida total de la fibra
Prx2=PTRXFBXmax-Lfibra2-Ls-Lcon-PERDincer;%potencia del receptor
Sg2=PTRXFBXmin-SXTX; % ganancia del sistema
LB2=Sg2-MargSec; %presupuesto de pérdida
perdtot2=Lfibra2+Lcon+Ls+PERDincer;% pérdida total del enlace
fprintf('enlace de subida \n\n');
fprintf('el rango dinámico es: %g dB \n\n',RXDYN2);
fprintf('la potencia del receptor es: %g dB \n\n',Prx2);
fprintf('la ganancia del sistema es: %g dB \n\n',Sg2);
fprintf('el presupuesto de pérdida es: %g dB \n\n',LB2);
fprintf('la pérdida total de enlace: %g dB \n\n',perdtot2);

```

```

set(handles.text21,'String',Sg2);
set(handles.text23,'String',LB2);
set(handles.text24,'String',perdtot2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%cálculo de tiempo de subida de la fibra
%cálculo para 1490nm
Tmod=0;
TGVD=(Dchr1490)*Longf*sigmalambOLT;
Tfibra=sqrt((Tmod)^2+(TGVD)^2); %Ecuación de tiempo de subida de la fibra
adquirida de fiber optic communication system de GOVIND P. AGRAWAL
fprintf('el valor del tiempo de subida de la fibra óptica: %g \n\n',Tfibra);
%tiempo de subida del sistema
Tsyst=sqrt((Tfibra)^2+(TRtxOLT)^2+(TRrxONU)^2);
fprintf('el valor del tiempo de subida del sistema: %g nseg\n\n',Tsyst/1*10^9);
%cálculo de tasa de datos
BRZ=(0.35/Tsyst);
fprintf('el valor estimado de la tasa de datos con señalización RZ: %g
Mbps\n\n',BRZ/64*10^-6);
set(handles.text6,'String',Tsyst/1*10^9);
set(handles.text7,'String',BRZ/64*10^-6);

%cálculo para 1310nm
TGVD2=(Dchr1310)*Longf*sigmalambONU;
Tfibra2=sqrt((Tmod)^2+(TGVD2)^2); %Ecuación de tiempo de subida de la
fibra adquirida de fiber optic communication system de GOVIND P. AGRAWAL
fprintf('el valor del tiempo de subida de la fibra óptica: %g \n\n',Tfibra2);
%tiempo de subida del sistema
Tsyst2=sqrt((Tfibra2)^2+(TRtxONU)^2+(TRrxOLT)^2);
fprintf('el valor del tiempo de subida del sistema: %g
nseg\n\n',Tsyst2/1*10^9);
%cálculo de tasa de datos
BRZ2= (0.35/Tsyst2);
fprintf('el valor estimado de la tasa de datos con señalización RZ: %g
Mbps\n\n',BRZ2/64*10^-6);
set(handles.text26,'String',BRZ2/64*10^-6);
%gráfica potencia vs distancia.
y=(PtxFBXmax-((Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=0 & x<=5.20)+(PtxFBXmax-
((PERDincer/2)+(Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=5.20 & x<=5.23)+(PtxFBXmax-
((PERDincer)+(Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=5.23 & x<=5.24)+(PtxFBXmax-
((PERDincer)+(Lcon/2)+ls+atenuacion1*x)).*(x>=5.24 & x<5.25)+(PtxFBXmax-
((PERDincer)+(Lcon)+ls+atenuacion1*x)).*(x>=5.25);
y1=(PtxFBXmax*ones(1*length(x)));
y2=(Prx1*ones(1*length(x)));
y3=((SrxFBX)*ones(1*length(x)));

```

```

z=(PTRXFBXmax-((Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=0& x<=5.20)+(PTRXFBXmax-
((PERDincer/2)+(Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=5.20&x<=5.23)+(PTRXFBXma
x-((PERDincer)+(Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=5.23&
x<=5.24)+(PTRXFBXmax-((PERDincer)+(Lcon/2)+ls+atenuacion2*x)).*(x>=5.24
& x<5.25)+(PTRXFBXmax-((PERDincer)+(Lcon)+ls+atenuacion2*x)).*(x>=5.25);
z1=(PTRXFBXmax*ones(1*length(x)));
z2=(Prx2*ones(1*length(x)));
z3=((SXTX)*ones(1*length(x)));

```

```

axes(handles.axes10)
plot(x,y,'b',x,y1,'-r',x,y2,'--m',x,y3,'-.k');
legend('Pérdidas [dBm/Km]');
title('GRAFICA POTENCIA VS DISTANCIA DE DOWNLINK DE UN ENLACE
EPON','FontWeight','bold','FontSize',11);
xlabel('distancia [Km]','FontWeight','bold','FontSize',11);
ylabel('potencia [dBm]','FontWeight','bold','FontSize',11);
text(0.4,PtxFBXmax+0.5,'Potencia Tx=-3[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,Prx1+0.5,'Potencia Rx=-11.16[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,SrxFBX+0.8,'Sensitividad Rx=-19.5[dBm]','FontSize',9);
grid;

```

```

axes(handles.axes11)
plot(x,z,'b',x,z1,'-r',x,z2,'--m',x,z3,'-.k');
legend('Pérdidas [dBm/Km]');
title('GRAFICA POTENCIA VS DISTANCIA DE UPLINK DE UN ENLACE
EPON','FontWeight','bold','FontSize',11);
xlabel('distancia [Km]','FontWeight','bold','FontSize',11);
ylabel('potencia [dBm]','FontWeight','bold','FontSize',11);
text(0.4,PTRXFBXmax+0.5,'Potencia Tx=-3[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,Prx2+0.5,'Potencia Rx=-11.73[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,SXTX+0.8,'Sensitividad Rx=-19.5[dBm]','FontSize',9);
grid;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

```

CÓDIGO ESQUEMA 2

```

function esquema2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
clc;
a=imread('fondo1.jpg'); %leo el archivo de imagen de fondo que quiero
axes(handles.axes1) % especifico la dirección del axes que deseo llenar con la
imagen
image(a)% coloco la imagen en cuestión

```

axis off;

%código a ejecutarse apenas se abra la ventana de esquema 1

%parámetros de OLT marca WTD modelo
sigmalambOLT=1; % ancho espectral del pulso
Ptxwtdmin=-3;%potencia mínima
Ptxwtdmax=2;%potencia máxima
RdyTX=21; %rango dinámico del receptor OLT
SXTX=-24; % sensibilidad del receptor OLT
TRtxOLT=260*10^-12; %tiempo de subida del emisor
TRrxOLT=260*10^-12; %tiempo de subida del receptor

%parámetros de ONT marca WTD modelo
sigmalambONU=3; %ancho espectral del pulso
Srxwtd=-25; % sensibilidad del ONU
TRrxONU=260*10^-12; % tiempo de subida del receptor
TRtxONU=260*10^-12; %tiempo de subida del transmisor
PTRXwtdmax=4; %potencia máxima de transmisión del ONU
PTRXwtdmin=-1; %potencia mínima de transmisión del ONU

%parámetros de fibra mitsubishi matched cladding, fibra monomodo genérica
%la cual obedece la recomendación ITU. G 652
atenuacion1=0.35;% atenuación para longitud de onda 1490nm
atenuacion2=0.4;% atenuación para longitud de onda 1310nm
Dchr1490=14.64*10^-12;%dispersión para la banda s (dispersión en 1490nm) ,
el valor se obtuvo a partir de una gráfica que analiza la DISPERSION VS LONG DE
onda que se obtuvo en un documento de la empresa telefónica o movistar la cual
se trata sobre fibras ópticas
Dchr1310=3.5*10^-12;% dispersión para longitud de onda 1310nm

%parámetros de splitter marca SOPTO.
PERDincer=4.8; % pérdida de inserción de splitter 1:8
%%
%variables globales
x=linspace(0,5.25,1000);
Ptx= Ptxwtdmax; % potencia del tx maxima en la fibra en dBm
Srx= Srxwtd; % sensibilidad del rx en dBm
RXDYN=Ptxwtdmax-Srxwtd; % rango dinámico en dB
lcon= 0.8; %pérdida por conector en dB (0.5-0.15)
ls= 0.5; % pérdida de empalme en dB (empalme mecánico)
Ncon= 2; % numero de conectores
Ns= 1; % numero de empalmes
Longf= 5.25; % longitud de sección de la fibra en km

%cálculo de los parámetros para el presupuesto de enlace.


```

%cálculo para enlace de bajada
Ls=ls*Ns; %pérdida total por empalme
Lcon=lcon*Ncon; %pérdida total por conector
Lfibra=Longf*atenuacion1; %pérdida total de la fibra
MargSec=5; %margen de seguridad en dB
Prx=Ptx-Lfibra-Ls-Lcon-PERDincer;% potencia del receptor
Sg=Ptx-Srx; % ganancia del sistema
LB=Sg-MargSec; %presupuesto de pérdida
Maxattperfiber=LB-Ls-Lcon; %máxima atenuación permitida en la fibra
perdtot=Lfibra+Lcon+Ls+PERDincer;% pérdida total del enlace
fprintf('enlace de bajada \n\n');
fprintf('la potencia del receptor es: %g dB \n\n',Prx);
fprintf('la ganancia del sistema es: %g dB \n\n',Sg);
fprintf('el rango dinámico es: %g dB \n\n',RXDYN);
fprintf('la pérdida por conector es: %g dB \n\n',Lcon);
fprintf('el margen de seguridad es: %g dB \n\n',MargSec);
fprintf('el presupuesto de pérdida es: %g dB \n\n',LB);
fprintf('la pérdida total de la fibra es: %g dB\n\n',Lfibra);
fprintf('la pérdida total de enlace: %g dB \n\n',perdtot);
set(handles.text3,'String',Sg);
set(handles.text4,'String',LB);
set(handles.text5,'String',perdtot);
% calculo para enlace de subida
Lfibra2=Longf*atenuacion2; %pérdida total de la fibra
Prx2=PTRXwtdmin-Lfibra2-Ls-Lcon-PERDincer;% potencia del receptor
Sg2=PTRXwtdmax-SCTX; % ganancia del sistema
LB2=Sg2-MargSec; %presupuesto de pérdida
perdtot2=Lfibra2+Lcon+Ls+PERDincer;% pérdida total del enlace
fprintf('enlace de subida \n\n');
fprintf('la ganancia del sistema es: %g dB \n\n',Sg2);
fprintf('el presupuesto de pérdida es: %g dB \n\n',LB2);
fprintf('la pérdida total de enlace: %g dB \n\n',perdtot2);
set(handles.text21,'String',Sg2);
set(handles.text23,'String',LB2);
set(handles.text24,'String',perdtot2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%cálculo de tiempo de subida de la fibra
%cálculo para 1490nm
Tmod=0;
TGVD=(Dchr1490)*Longf*sigmalambOLT;
Tfibra=sqrt((Tmod)^2+(TGVD)^2); %Ecuación de tiempo de subida de la fibra
adquirida de fiber optic communication system de GOVIND P. AGRAWAL
fprintf('el valor del tiempo de subida de la fibra óptica: %g \n\n',Tfibra);
%tiempo de subida del sistema
Tsyst=sqrt((Tfibra)^2+(TRtxOLT)^2+(TRrxONU)^2);
fprintf('el valor del tiempo de subida del sistema: %g nseg\n\n',Tsyst/1*10^9);

```

```

%cálculo de tasa de datos
BRZ=(0.35/Tsyst);
fprintf('el valor estimado de la tasa de datos en el enlace de bajada con
señalización RZ: %g Mbps\n\n',BRZ/64*10^-6);
set(handles.text6,'String',Tsyst/1*10^9);
set(handles.text7,'String',BRZ/64*10^-6);

%cálculo para 1310nm
Tmod2=0;
TGVD2=(Dchr1310)*Longf*sigmalambONU;
Tfibra2=sqrt((Tmod2)^2+(TGVD2)^2);
Tsyst2=sqrt((Tfibra2)^2+(TRtxONU)^2+(TRrxOLT)^2);
BRZ2=(0.35/Tsyst2);
fprintf('el valor del tiempo de subida del sistema: %g
nseg\n\n',Tsyst2/1*10^9);
fprintf('el valor estimado de la tasa de datos en el enlace de subida con
señalización RZ: %g Mbps\n\n',BRZ2/64*10^-6);
set(handles.text26,'String',BRZ2/64*10^-6);
%%%%%%%%%%
%gráfica potencia vs distancia.
y=(Ptxwtdmax-((Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=0 & x<=5.2)+(Ptxwtdmax-
((PERDincer/2)+(Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=5.20 & x<=5.23)+(Ptxwtdmax-
((PERDincer)+(Lcon/2)+atenuacion1*x)).*(x>=5.23 & x<=5.24)+(Ptxwtdmax-
((PERDincer)+(Lcon/2)+ls+atenuacion1*x)).*(x>=5.24 & x<5.25)+(Ptxwtdmax-
((PERDincer)+(Lcon)+ls+atenuacion1*x)).*(x>=5.25);
y1=(Ptxwtdmax*ones(1*length(x)));
y2=(Prx*ones(1*length(x)));
y4=((Srxwtd)*ones(1*length(x)));

z=(PTRXwtdmax-((Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=0 & x<=5.2)+(PTRXwtdmax-
((PERDincer/2)+(Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=5.20&x<=5.23)+(PTRXwtdma
x-((PERDincer)+(Lcon/2)+atenuacion2*x)).*(x>=5.23&
x<=5.24)+(PTRXwtdmax-((PERDincer)+(Lcon/2)+ls+atenuacion2*x)).*(x>=5.24
& x<5.25)+(PTRXwtdmax-((PERDincer)+(Lcon)+ls+atenuacion2*x)).*(x>=5.25);
z1=(PTRXwtdmax*ones(1*length(x)));
z2=(Prx2*ones(1*length(x)));
z4=((SXTX)*ones(1*length(x)));

axes(handles.axes10)
plot(x,y,'b',x,y1,'--r',x,y2,'--g',x,y4,'m');
legend('Pérdidas [dBm/Km]');
title('GRAFICA POTENCIA VS DISTANCIA DE DOWNLINK DE UN ENLACE
EPON','FontWeight','bold','FontSize',11);
xlabel('distancia [Km]','FontWeight','bold','FontSize',11);
ylabel('potencia [dBm]','FontWeight','bold','FontSize',11);
text(0.4,Ptxwtdmax+0.5,'Potencia Tx=2[dBm]','FontSize',9);

```

```

text(1.25,Prx+0.8,'Potencia Rx=-6.73[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,Srxwtd+0.8,'Sensitividad Rx=-25[dBm]','FontSize',9);
grid;

axes(handles.axes11)
plot(x,z,'b',x,z1,'-r',x,z2,'-g',x,z4,'m');
legend('Pérdidas [dBm/Km]');
title('GRAFICA POTENCIA VS DISTANCIA DE UPLINK DE UN ENLACE
EPON','FontWeight','bold','FontSize',11);
xlabel('distancia [Km]','FontWeight','bold','FontSize',11);
ylabel('potencia [dBm]','FontWeight','bold','FontSize',11);
text(0.4,PTRXwtdmax-0.5,'Potencia Tx=4[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,Prx2+0.8,'Potencia Rx=-5[dBm]','FontSize',9);
text(1.25,SXTX+0.8,'Sensitividad Rx=-24[dBm]','FontSize',9);
grid;

handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

```

ANEXO II
HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE
COMPONENTES USADOS EN LA
SIMULACIÓN.



EPON OLT Optical Transceiver SFF Module

RTXM168-404

Features

- *Integrated Single fiber bi-directional optical subassembly*
- *1310nm Burst-mode APD/TIA receiver and 1490nm Continuous DFB laser Transmitter (with WDM)*
- *2x5 SFF metallic package*
- *+3.3V single power supply*
- *Low power consumption*
- *Resetless burst-mode receiver*
- *Wide dynamic range over 20dB*
- *Settling time less than 400ns*
- *0 to 70°C operating ambient temperature*
- *LVPECL compatible data input/output interface*
- *LVTTTL transmitter laser shutdown*
- *LVTTTL receiver signal-detected indication*
- *Class 1 Laser eye safety standard*
- *Excellent EMI and EMC characteristics*
- *ESD protection function*
- *RoHS compliant*

Specifications:**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	Unit	Min	Max
Operating Temperature Range	T_c	$^{\circ}\text{C}$	0	70
Storage Temperature Range	T_s	$^{\circ}\text{C}$	-40	85
Relative Humidity	RH	%	5	95
Power Supply Voltage	V_{cc}	V	0	4.6
Pin Input Voltage		V	GND	V_{cc}
Receiver Damage Threshold		dBm	+4	-
Lead Solder Temperature		$^{\circ}\text{C}$	-	260
Lead Solder Duration		S	-	10
Fiber Yield Strength		kgf	-	0.5
Fiber Bend Radius		mm	30	-

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max
Operating Voltage	V_{cc}	V	3.13	3.3	3.47
Operating Temperature Range	T_{op}	$^{\circ}\text{C}$	0	-	70
Operating Data Rate		Gbps	-	1.25±100ppm	-

Specifications (tested under recommended conditions, unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max	Notes
Electrical Characteristics						
Supply Current	I_{cc}	mA	-	-	300	
LVPECL Single Ended Data Input Swing		mV	300	-	1600	1
LVPECL Single Ended Data Output Swing		mV	640	-	880	2
Differential Data input impedance		Ω	-	100	-	1
Signal Level(LVTTL H)		V	2.4	-	V _{cc}	
Signal Level(LVTTL L)		V	0	-	0.8	
Optical transmitter Characteristics						
Data Rate		Mbps	-	1250	-	
Center Wavelength Range	λ_c	nm	1480	1490	1500	
Spectral Width($\Delta\lambda$ >20dB)	$\Delta\lambda$	nm	-	-	1	
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	dB	30	-	-	
Launch Optical Power	P_o	dBm	-3	-	+2	3
Off level light		dBm	-	-	-39	4
Extinction Ratio	EX	dB	10	-	-	5
Rise/Fall time(20%-80%)	T_r/T_f	ps	-	-	260	6
RIN _{OMA}		dB/Hz	-	-	-113	
Optical Return Loss Tolerance		dB	-	-	15	
Maximum reflectance		dB	-	-	-12	$\lambda=1.49\mu\text{m}$
Transmitter dispersion penalty	TDP	dB	-	-	1.3	7
Eye Diagram	Compliant with IEEE Std 802.3ah					5 and 8
Optical receiver Characteristics						
Data Rate		Mbps	-	1250	-	
Receiver Sensitivity	S	dBm	-	-	-24	9
Overload Input Optical Power	P_{in}	dBm	-1	-	-	9
Center Wavelength Range	λ_c	nm	1260	1310	1360	
Receiver Settling Time	T_{settle}	ns	-	-	400	10
Receiver Dynamic range		dB	21	-	-	11
Receiver reflectance		dB	-	-	-12	$\lambda=1.31\mu\text{m}$
SD(LVTTL)	Optical Desert	dBm	-40	-	-	
	Optical Assent		-	-	-25	
LOS Hysteresis		dB	0.5	-	6	

1.25Gbps Single Fiber Bi-directional SFP Transceiver (For 10km point-to-point transmission)

Members of Flexon™ Family



- ◆ Compatible with SFP MSA
- ◆ Compatible with IEEE 802.3ah -2004 Gigabit Ethernet Specification
- ◆ Compatible with Digital Diagnostic SFF-8472
- ◆ Compatible with Bellcore GR-368
- ◆ Compatible with FDA 21 CFR 1040.10 and 1040.11, Class I
- ◆ RoHS compliance

Features

- ◆ 1.25Gbps bi-directional data links
- ◆ Up to 10km point-point transmission
- ◆ 1310nm FP transmitter and 1490nm PIN receiver for FT-M-9612S-SL10(I)G
- ◆ 1490nm DFB transmitter and 1310nm PIN receiver for FT-M-9912S-SL10(I)G
- ◆ Class I laser product
- ◆ Low EMI and excellent ESD protection
- ◆ SFP MSA package with single SC receptacle
- ◆ Single +3.3V Power Supply
- ◆ Detailed product information in EEPROM
- ◆ FT-M-9612S-SL10(I)G Operating Case Temperature
Standard: 0 to +70°C
Industrial: -40 to +85°C
- ◆ FT-M-9912S-SL10(I)G Operating Case Temperature
Standard: 0 to +70°C
Industrial: -40 to +85°C

Description

Fiberxon 1.25G single fiber bi-directional SFP transceivers are high performance, cost effective modules, which supports data rate of 1.25Gbps and transmission distance up to 10km.

FT-M-9612S-SL10(I)G is normally used in the client side (ONU), which transmits 1310nm optical signal and receives 1490nm optical signal. While FT-M-9912S-SL10(I)G is used in the central office side (OLT), which transmits 1490nm optical signal and receives 1310nm optical signal.

The standard serial ID information compatible with SFP MSA describes the transceiver's capabilities, standard interfaces, manufacturer and other information. The host equipment can access this information via the 2-wire serial CMOS EEPROM protocol. For further information, please refer to SFP MSA.

FT-M-9612S-SL10(I)G and FT-M-9912S-SL10(I)G are compliant with RoHS

Applications

- ◆ Gigabit Ethernet Application
- ◆ Point-to-Point FTTX Application

Standard

Regulatory Compliance

The transceivers have been tested according to American and European product safety and electromagnetic compatibility regulations (See Table 1). For further information regarding regulatory certification, please refer to Fiberxon™ regulatory specification and safety guidelines, or contact with Fiberxon, Inc. America sales office listed at the end of the documentation.

Table 1 - Regulatory Compliance

Feature	Standard	Performance
Electrostatic Discharge (ESD) to the Electrical Pins	MIL-STD-883E Method 3015.7	Class 2(>2000 V)
Electrostatic Discharge (ESD) to SC Receptacle	IEC 61000-4-2 GR-1089-CORE	Compatible with standards
Electromagnetic Interference (EMI)	FCC Part 15 Class B EN55022 Class B (CISPR 22B) VCCI Class B	Compatible with standards
Immunity	IEC 61000-4-3	Compatible with standards
Laser Eye Safety	FDA 21CFR 1040.10 and 1040.11 EN60950, EN (IEC) 60825-1,2	Compatible with Class 1 laser product.
Component Recognition	UL and CSA	Compatible with standards
RoHS	2002/95/EC 4.1&4.2 2005/747/EC	Compliant with standards note

Note:

In light of item 5 in Annex of 2002/95/EC, "Pb in the glass of cathode ray tubes, electronic components and fluorescent tubes." and item 13 in Annex of 2005/747/EC, "Lead and cadmium in optical and filter glass.", the two exemptions are being concerned for Fiberxon's transceivers, because Fiberxon's transceivers use glass, which may contain Pb, for components such as lenses, windows, isolators, and other electronic components.

Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the devices may occur.

Table 2 – Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Note
Storage Temperature	T_s	-40	+85	°C	
Operating Case Temperature	T_c	-40	+85	°C	1
		0	+70	°C	2
Supply Voltage	V_{CC}	0	+4	V	
Input Voltage	V_{IN}	0	V_{CC}	V	

- FTM-9612S-SL10IG/ FTM-9912S-SL10IG
- FTM-9612S-SL10G/ FTM-9912S-SL10G

Recommended Operating Conditions

Table 3 - Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Unit	Note
Operating Case Temperature	T_c	-40		+85	°C	1
		0		+70	°C	2
Power Supply Voltage	V_{cc}	3.13	3.3	3.47	V	
Power Supply Current	I_{cc}			300	mA	
Data Rate			1.25		Gbps	

- FTM-9612S-SL10iG/ FTM-9912S-SL10iG
- FTM-9612S-SL10G/ FTM-9912S-SL10G

FTM-9612S-SL10G/ FTM-9612S-SL10iG (1310nm FP Tx/1490nm PIN Rx for ONU, 10km)
Table 4 –Optical and Electrical Characteristics (Over operation temperature, V_{cc} =3.13 to 3.47V)

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Unit	Note	
Transmitter							
Centre Wavelength	λ_c	1260	1310	1360	nm		
Average Launch Power	P_{out}	-9	-6	-3	dBm	1	
Average Launch Power of OFF Transmitter				-45	dBm		
Spectral Width (RMS)	$\Delta\lambda$	1260nm		2.09	nm		
		1270nm		2.52			
		1280nm		3.13			
		1286nm		3.50			
		1343nm					
		1350nm		3.06			
		1360nm		2.58			
Extinction Ratio	EX	6			dB		
Launch OMA	OMA	-8.2			dBm		
Rise/Fall Time (20%~80%)	t_r / t_f			0.26	ns		
Relative Intensity Noise	$RIN_{12}OMA$			-113	dB/Hz		
Optical Return Loss tolerance				12	dB		
Deterministic Jitter	DJ			200	ps		
Total Jitter	TJ			385	ps		
Output Optical Eye		IEEE 802.3ah Compatible					2
Single Ended Data Input Swing	V_{in}	250		1200	mV	3	
Input Differential Impedance	Z_{in}	80	100	120	Ω		
TX Disable	Disable		2.0	V_{cc}	V		
	Enable		0	0.8	V		
TX Fault	Fault		2.0	$V_{cc}+0.3$	V		
	Normal		0	0.8	V		
Receiver							
Centre Wavelength	λ_c	1480	1490	1500	nm		
Receiver Sensitivity				-19.5	dBm	4	

Receiver Overload		-3			dBm	4
LOS De-Assert	LOS _D			-20	dBm	
LOS Assert	LOS _A	-35			dBm	
LOS Hysteresis		0.5		4	dB	
Receiver Reflectance				-12	dB	
Single ended Data Output Swing	V _{OUT}	200		800	mV	5
LOS	High		2		V _{CC} +0.3	V
	Low		0		0.8	V

1. The optical power is launched into SMF.
2. Measured with a PRBS 2⁷-1 test pattern @1.25Gbps.
3. Internally AC coupled and terminated.
4. Measured with a PRBS 2⁷-1 test pattern @1.25Gbps, BER ≤ 1 × 10⁻¹².
5. Internally AC coupled.

FTM-9912S-SL10G/ FTM-9912S-SL10iG (1490nm DFB Tx/1310nm PIN Rx for OLT, 10km)

Table 5 –Optical and Electrical Characteristics (Over operation temperature, V_{CC}=3.13 to 3.47V)

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Unit	Note	
Transmitter							
Centre Wavelength	λ _C	1480	1490	1500	nm		
Average Launch Power	P _{avg}	-9	-6	-3	dBm	1	
Average Launch Power of OFF Transmitter				-45	dBm		
Spectral Width (-20dB)	Δλ			0.88	nm		
Extinction Ratio	EX	6			dB		
Launch OMA	OMA	-8.2			dBm		
Rise/Fall Time (20%~80%)	t _r /t _f			0.26	ns		
Relative Intensity Noise	RIN ₁₂ OMA			-113	dB/Hz		
Optical Return Loss tolerance				12	dB		
Deterministic Jitter	DJ			200	ps		
Total Jitter	TJ			385	ps		
Output Optical Eye		IEEE 802.3ah Compatible					2
Single Ended Data Input Swing	V _{IN}	250		1200	mV	3	
Input Differential Impedance	Z _{IN}	80	100	120	Ω		
TX Disable	Disable		2.0		V _{CC}	V	
	Enable		0		0.8	V	
TX Fault	Fault		2.0		V _{CC} +0.3	V	
	Normal		0		0.8	V	
Receiver							
Centre Wavelength	λ _C	1260	1310	1360	nm		
Receiver Sensitivity				-19.5	dBm	4	
Receiver Overload				-3	dBm	4	
LOS De-Assert	LOS _D			-20	dBm		



10km EPON ONU Optical Transceiver SFF Module

RTXM169-405

Features

- *Integrated Single fiber bi-directional optical subassembly*
- *SC receptacle optical interface*
- *1310nm FP laser Burst-mode Transmitter and 1490nm PIN/TIA Continuous receiver(with WDM)*
- *SFF 2×5 metallic package*
- *+3.3V single power supply*
- *Low power consumption*
- *0 to 70°C operating ambient temperature*
- *LVPECL compatible data input/output interface*
- *LVTTTL transmitter burst mode control*
- *LVTTTL receiver signal-detected indication*
- *Class 1 Laser eye safety*
- *RoHS compliant*

Application

- *Optical transceiver for Gigabit Ethernet Passive Optical Networks (EPON) ONU side*

Standards

- *IEEE802.3ah 1000BASE-PX10*
- *Small Form Factor Transceiver Multisource Agreement July 5,2000*

Description

The EPON ONU Transceiver module is designed for Gigabit Ethernet Passive Optical Network (EPON) 10km transmission. The module incorporates 1310nm burst-mode transmitter and 1490nm continuous-mode receiver.

The transmitter section uses a 1310nm FP laser and an integrated BM laser driver which is designed to perform very small burst enable/disable delay time. The laser driver also includes digital APC and temperature compensation circuit, which are used for keeping the launch optical power and extinction ratio constant over temperature and aging.

The receiver section uses an integrated 1490nm InGaAs PIN photodiode and preamplifier mounted together. It has the function that indicates receiver signal-detected status (active high).

An integrated WDM coupler can separate 1490nm input light and 1310nm output light.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Unit	Min	Max
Operating Temperature Range	Tc	°C	0	70
Storage Temperature Range	Ts	°C	-40	85
Relative Humidity	RH	%	5	95
Power Supply Voltage	Vcc	V	0	4.6
Pin Input Voltage		V	GND	Vcc
Receiver Damage Threshold		dBm	+4	-
Lead Solder Temperature		°C	-	260
Lead Solder Duration		S	-	10
Fiber Yield Strength		kgf	-	0.5
Fiber Bend Radius		mm	30	-

Recommended operating conditions

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max
Operating Voltage	V _{cc}	V	3.13	3.3	3.47
Operating Temperature Range	T _{op}	°C	0	-	70
Operating Data Rate		Gbps	-	1.25±100ppm	-

Specifications (0 °C < T_{op} < 70 °C and 3.13V < V_{cc} < 3.47V)

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max	Notes
Electrical Characteristics						
Supply Current	I _{cc}	mA	-	-	300	
LVPECL Single Ended Data Input Swing	-	mV	100	-	800	1
LVPECL Single Ended Data Output Swing	-	mV	300	-	500	2
Differential Data Input Impedance	-	Ω	-	100	-	1
Signal Level(LVTTL H)	-	V	2.4	-	V _{cc}	
Signal Level(LVTTL L)	-	V	0	-	0.8	
Optical transmitter Characteristics						
Data Rate		Mbps	-	1250	-	
Center Wavelength Range	λ _c	nm	1280	-	1350	
Spectral Width(@RMS)	Δλ	nm	-	-	3	
Launch Optical Power	P _o	dBm	-1	-	+4	3
Off level light		dBm	-	-	-45	
Extinction Ratio	EX	dB	10	-	-	4
Burst turn on/off time	T _{on} /T _{off}	ns	-	-	16	5
Rise/Fall time (20%~80%)	T _r /T _f	ps	-	-	260	6
RIN ₁₅ OMA		dB/Hz	-	-	-113	
Optical Return Loss Tolerance		dB	-	-	15	
Maximum reflectance		dB	-	-	-12	λ=1.31μm
Transmitter dispersion penalty	TDP	dB	-	-	1.8	7
Eye Diagram	Compliant with IEEE Std 802.3ah					8
Optical receive Characteristics						
Data Rate		Mbps	-	1250	-	
Receiver Sensitivity	S	dBm	-	-	-25	9
Overload Input Optical Power	P _{in}	dBm	-3	-	-	9
Center Wavelength Range	λ _c	nm	1480	1490	1500	
Receiver reflectance		dB	-	-	-12	λ=1.49μm
SD(LVTTL)	Optical Deseert		-40	-	-	
	Optical Assert		-	-	-26	
LOS Hysteresis		dB	0.5	-	6	

Note1: DC coupled internally and terminated externally (see the recommended circuit below).

Note2: LVPECL output, AC coupled internally (see the recommended circuit below).

Wuhan Telecommunication Devices Co., Ltd.

<http://www.wtd.com.cn>

HITACHI



HITACHI Optical Fiber Cable

Fiber Design

Singlemode Fiber

Type of Fiber	Matched Cladding SM Fiber	Non-Zero Dispersion Shifted SM Fiber (NZDSF / large Aeff)	Non-Zero Dispersion Shifted SM Fiber (NZDSF / lower slope)
Standard	ITU-T Rec. G.652	ITU-T Rec. G.655	ITU-T Rec. G.655
Mode field diameter at 1310 nm	9.2 +/- 0.4 μm	—	—
at 1550 nm	10.5 +/- 1.0 μm	9.0–10.0 μm	8.4 +/- 0.6 μm
Effective area (Aeff) at 1550 nm	—	77 μm ² (typical)	52 μm ² (typical)
Cladding diameter	125.0 +/- 1.0 μm	125.0 +/- 1.0 μm	125.0 +/- 1.0 μm
Cladding non-circularity	max. 1.0 %	max. 1.0 %	max. 1.0 %
Mode field concentricity error	max. 0.5 μm	max. 0.5 μm	max. 0.5 μm
Cable cut-off wavelength (λ _{cc})	max. 1260 μm	max. 1500 nm	max. 1500 nm
Attenuation*			
at 1310 nm	max. 0.35–0.40 dB/km	—	—
at 1550 nm	max. 0.21–0.25 dB/km	max. 0.22–0.25 dB/km	max. 0.22–0.25 dB/km
Chromatic dispersion (CD)	max. 3.5 ps/km nm at 1285–1330 nm max. 18 ps/km nm at 1550 nm	3.0–5.5 ps/km nm at 1550 nm	4.3 +/- 2.0 ps/km nm at 1550 nm
Zero dispersion wavelength	1300–1324 nm	—	—
CD Slope	max. 0.092 ps/km nm ² at zero dispersion wavelength	max. 0.115 ps/km nm ²	max. 0.05 ps/km nm ²
Average PMD at 1550 nm region	max. 0.2 ps/sqrt-km	max. 0.2 ps/sqrt-km	max. 0.2 ps/sqrt-km
Fiber curl in radius of curvature	min. 4 m	min. 4 m	min. 4 m
Proof level	100 kpsi (1 %)	100 kpsi (1 %)	100 kpsi (1 %)

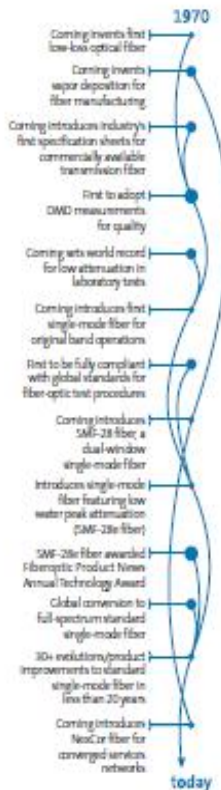
* Special requirements are available.

Multimode Fiber

Type of Fiber	50 μm Core	62.5 μm Core
Standard	IEC60793-2	IEC60793-2
Core diameter	50 +/- 3 μm	62.5 +/- 3 μm
Cladding diameter	125.0 +/- 2.0 μm	125.0 +/- 2.0 μm
Cladding non-circularity	max. 2.0 %	max. 2.0 %
Core eccentricity error	max. 3.0 μm	max. 3.0 μm
Core non-circularity	max. 6.0 %	max. 6.0 %
Refractive index profile and difference	Near parabolic 1%	Near parabolic 2%
Numerical aperture (NA)	0.20 +/- 0.015	0.275 +/- 0.015
Attenuation*		
at 850 nm	2.4–3.0 dB/km	3.0–3.8 dB/km
at 1300 nm	0.6–1.3 dB/km	0.7–1.8 dB/km
at 850 / 1300 nm	2.7 / 1.0 dB/km	3.5 / 1.5 dB/km
Bandwidth*		
at 850 nm	200–600 MHz-km	160–300 MHz-km
at 1300 nm	400–1000 MHz-km	200–800 MHz-km
at 850 / 1300 nm	200 / 600 MHz-km	160 / 500 MHz-km
Proof level	100 kpsi (1 %)	100 kpsi (1 %)

* Special requirements are available.

Corning® SMF-28e+™ Optical Fiber with NexCor® Technology Product Information



Trusted Performance Today and in the Future

Corning Optical Fiber continues to push single-mode fiber to new levels and evolve its standard single-mode optical fiber offering by adding the performance advantage of NexCor® technology to the trusted SMF-28e® optical fiber. The result is Corning® SMF-28e+™ optical fiber, a full spectrum single-mode fiber that is fully backward compatible with legacy single-mode fibers and is the latest in a long line of fiber optic innovations from Corning.

Corning® SMF-28e+™ optical fiber, an ITU-T G.652.D-compliant optical fiber, is expanding the capability and performance of the world's metropolitan and access networks that support all broadband applications, including CATV and fiber to the home (FTTH). Significant performance advantages compared to the industry's legacy single-mode fibers include:

- NexCor's MaxPower® technology's 3 dB Stimulated Brillouin Scattering threshold improvement, enabling twice the optical launch power for better system reach and coverage
- Improved macrobend specifications, from 0.05 dB to 0.03 dB, for improved handling and ease of installation, critical considerations in today's access network designs
- Tighter zero dispersion wavelength (λ_0) specification, specifically the λ_0 tolerance has been improved from a range of ± 10 nm to ± 7 nm, to enable lower cost transmitters and simplified network planning.

As with all Corning fiber products, SMF-28e+ fiber complies with the industry's most stringent requirements, including:

- ITU-T Recommendation G.652 (Tables A, B, C and D)
- IEC Specifications 60793-2-50 Type B1.3
- TIA/EIA 492-CAAB
- Telcordia Generic Requirements GR-20-CORE
- ISO 11801 OS2

PI1463

ISSUED: DECEMBER 2007
SUPERSEDES: MAY 2007

ISO 9001 REGISTERED



Optical Specifications

Fiber Attenuation

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	0.33 – 0.35
1383**	0.31 – 0.35
1490	0.21 – 0.24
1550	0.19 – 0.20
1625	0.20 – 0.23

*Maximum specified attenuation value available within the stated ranges.

**Attenuation values at this wavelength requires post-hydrogen aging performance.

Alternate attenuation offerings available upon request.

Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1285 – 1330	1310	0.03
1525 – 1575	1550	0.02

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α .

Maximised Loss

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550	≤ 0.03
50	100	1310	≤ 0.03
50	100	1550	≤ 0.03
60	100	1625	≤ 0.03

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Point Discontinuity

Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1310	≤ 0.05
1550	≤ 0.05

Cable Cutoff Wavelength (λ_{ccf})

$\lambda_{ccf} \approx 1260$ nm

Mode-Field Diameter

Wavelength (nm)	MFD (μ m)
1310	9.2 \pm 0.4
1550	10.4 \pm 0.5

Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps ² /(nm ² ·km)]
1550	≤ 18.0
1625	≤ 22.0

Zero Dispersion Wavelength (λ_0): 1310 nm $\leq \lambda_0 \leq$ 1324 nm

Zero Dispersion Slope (S_0): ≤ 0.092 ps/(nm²·km)

Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps/√km)
PMD Link Design Value	$\leq 0.06^*$
Maximum Individual Fiber	≤ 0.2

*Complies with IEC 60794-3: 2001, Section 5.5, Method 1, September 2001.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD₀). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when cabled. Corning's fiber specification supports network design requirements for a 0.5 ps/√km maximum PMD.

Dimensional Specifications

Glass Geometry

Fiber Curl	> 4.0 m radius of curvature
Cladding Diameter	125.0 \pm 0.7 μ m
Core-Clad Concentricity	≤ 0.5 μ m
Cladding Non-Circularity	$\leq 0.7\%$

Coating Geometry

Coating Diameter	245 \pm 5 μ m
Coating-Cladding Concentricity	< 12 μ m

Environmental Specifications

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation (1310 nm, 1550 nm & 1625 nm) (dB/km)
Temperature Dependence	-60°C to +85°C*	≤ 0.05
Temperature Humidity Cycling	-10°C to +85°C* up to 98% RH	≤ 0.05
Water Immersion	23 \pm 2°C	≤ 0.05
Heat Aging	85 \pm 2°C*	≤ 0.05

*Reference temperature = +23°C.

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C.

How to Order

Contact your sales representative,
or call the Optical Fiber Customer
Service Department:
Ph: 607-248-2000 (U.S. and Canada)
+44-1244-525-325 (Europe)
Email: opticalfib@corning.com
Please specify the fiber type, attenuation
and quantity when ordering.

Mechanical Specifications

Proof Test

The entire fiber length is subjected to a tensile
stress ≥ 100 kpsi (0.7 GPa)*.

*Higher proof test levels available.

Length

Fiber lengths available up to 50.4* km/spool.

*Longer spooled lengths available.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

<i>Core Diameter</i>	8.2 μm
<i>Numerical Aperture</i>	0.14 <i>NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.</i>
<i>Zero Dispersion Wavelength (λ_0)</i>	1317 nm
<i>Zero Dispersion Slope (S_0)</i>	0.088 ps ² /(nm ² ·km)
<i>Effective Group Index of Refraction (N_g)</i>	1310 nm: 1.4670 1550 nm: 1.4677
<i>Fatigue Resistance Parameter (N_f)</i>	20
<i>Coating Strip Force</i>	Dry: 0.6 lbs. (3N) Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3N)
<i>Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 μm Pulse Width)</i>	1310 nm: -77 dB 1550 nm: -82 dB
<i>Stimulated Brillouin Scattering Threshold</i>	20 dBm ⁽¹⁾

Note:

(1) When characterized with a transmitter specifying 17 dBm SRS
threshold over standard single-mode fiber. While absolute SRS
threshold is a function of distance and signal format, SMP-28e-1™ fiber
with NextCast™ technology offers a 3 dB improvement over standard
single-mode fiber independent of these variables.

Formulas

Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right] \text{ps}^2/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

$$\text{for } 1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1625 \text{ nm}$$

λ = Operating Wavelength

Cladding Non-Circularity

$$\text{Cladding Non-Circularity} = \left[1 - \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}} \right] \times 100$$

Corning Incorporated
www.corning.com/opticalfiber

One Riverfront Plaza
Corning, NY 14831
U.S.A.

Ph: 800-525-2124 (U.S. and Canada)
607-248-2000 (International)

Fa: 800-539-3632 (U.S. and Canada)
607-796-8344 (International)

Email: info@corning.com

SMP-28e-1 is a trademark and Corning, SMP-28e and
NextCast are registered trademarks of Corning
Incorporated, Corning, N.Y.

Any warranty of any nature relating to any Corning
optical fiber is only assumed in all written agreements
between Corning Incorporated and the direct purchaser
of such fiber.

©2006, Corning Incorporated



PLANAR OPTICAL SPLITTER/COUPLER CHIP (APSPL-COXXXXXX)

APSPL planar optical splitters/couplers are developed based on Enablence Technologies' patented CVD process. The high performance silica waveguides exhibit low insertion loss and low polarization dependent loss (PDL) over a wide wavelength range. The small footprint allows for a compact package. Additionally, the silicon substrate serves as an assembly platform to integrate with other active or passive optical devices.



BENEFITS

- Channel counts from 4, 8, and 16 to 32.
- 2xN Available Upon Request
- Customized chip size and topology for integration platform
- Quartz or Silicon Substrate

FEATURES

- High Channel Count
- Compact Design
- Wide Band
- Wide operating temperature
- Polarization maintaining

APPLICATIONS

- Intensity coupling and splitting in FTTH, PON, etc.
- Wavelength combiner in multi-channel transmit side optical subassembly (TOSA)

[DATA SHEET](#)

OPTICAL PERFORMANCE

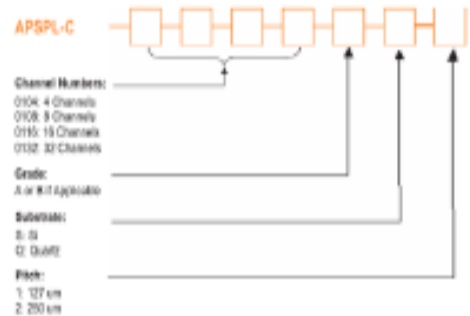
Parameter	Specification								Comments
	1x4		1x8		1x16		1x32		
Grade	A	B	A	B	A	B	A	B	
Operational Wavelength	1310±40, 1490±20, 1550±40								nm
Insertion Loss (IL) Maximum	≤6.90	≤7.00	≤10.00	≤10.30	≤13.20	≤13.50	≤16.30	≤16.80	dB Worst Case
Uniformity	±0.60	±0.60	±0.60	±0.60	±1.00	±1.20	±1.20	±1.50	dB Difference between best
Polarization Dependent Loss	≤0.15	≤0.20	≤0.15	≤0.20	≤0.15	≤0.20	≤0.25	≤0.30	dB
Return Loss/Directivity	>55								dB
Operation Temperature Range	-40 ~ 85								°C
Storage Temperature Range	-40 ~ 85								°C
Waveguide Pitch	250				127				µm
Polish Angle (θ)	-8, 0 or +8								deg

PHYSICAL DIMENSIONS (UNITS: MM)

Parameters	Symbol	Units	Specification				
			1x4	1x8 D	1x8 C	1x16	1x32
Length	L	mm	9.5±1	13±1	9.7±1	16.5±1	23±1
Width	W	mm	2.5±0.2	3.75±0.2	2.5±0.2	3.5±0.2	5.5±0.2
Height	H	mm	2.55±0.2				
Substrate	T	mm	1.05±0.05				
Polish Angle	°		8±0.4				
Output Spacing	-	µm	250±0.1		127±0.1		

ORDERING INFORMATION

Example: APSPL-C0108AQ1: 1x8 grade A quartz optical splitter chip with waveguide pitch of 127 µm



For more information
 visit www.enablence.com

Planar Light wave Circuit Splitter (PLCS)

Sopto's single-mode Planar Light wave Circuit Splitter (PLCS) are developed based on unique silica glass waveguide process with reliable precision aligned fiber pigtail in a miniature package, it provides a low cost light distribution solution with small form factor and high reliability. The PLCS devices have high performance in terms of low insertion loss, low PDL high return loss and excellent uniformity over a wide wavelength range from 1260nm to 1620nm and working in temperature from -40C to +85C. The PLCS devices have standard configurations of 1x4, 1x8, 1x16 and 1x32 configurations, as well as customized structures of 2x8, 2x16, 2x32 and 2x64.

Key Features

- Compact design
- Low insertion loss and low PDL
- High reliability
- High channel counts
- Wide wavelength range
- Large operating temperature range
- Customized packaging and configuration

Applications

- FTTx systems
- LAN,WAN and Metro Networks
- Analog/Digital Passive Optical Networks
- CATV Networks
- Other applications in fiber optical systems

Compliance

- Telcordia GR-1209-CORE
- Telcordia GR-1221-CORE

1XN PLC Specifications

Port Configuration		1X2	1X4	1X8	1X16	1X32	1X64
Fiber Type		SMF-28e or Customer specified					
Operating Wavelength(nm)		1260~1650					
Insertion Loss(dB)	Typical	3.7	6.8	10.0	13.0	16.0	19.5
	Max	4.0	7.2	10.5	13.5	16.9	21.0
Loss Uniformity(dB)	Max	0.4	0.6	0.8	1.2	1.5	2.5
Return Loss(dB)	Min	50	50	50	50	50	50
Polarization Dependent Loss(dB)	Max	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Directivity(dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Wavelength Dependent Loss(dB)	Max	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.8
Temperature Dependent Loss[-40~85C](dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	1.0
Operating Temperature(C)		-40~85					
Storage Temperature(C)		-40~85					
Package Size(mm)		40x4x4	40x4x4	40x4x4	40x4x4	50x7x4	60x12x4

Notes: 1. Specifications without fiber connectors.
 2. Room temperature test.

2XN Specifications

Port Configuration		2X2	2X4	2X8	2X16	2X32	2X64
Fiber Type		SMF-28e or Customer specified					
Operating Wavelength(nm)		1260~1650					
Insertion Loss(dB)	Typical	3.8	7.4	10.8	14.2	17.0	21.0
	Max	4.2	7.8	11.2	14.6	17.5	21.5
Loss Uniformity(dB)	Max	1.0	1.4	1.5	2.0	2.5	2.5
Return Loss(dB)	Min	50	50	50	50	50	50
Polarization Dependent Loss(dB)	Max	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5
Directivity(dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Wavelength Dependent Loss(dB)	Max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
Temperature Dependent Loss[-40~85C](dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	1.0
Operating Temperature(C)		-40~85					
Storage Temperature(C)		-40~85					
Package Size(mm)		40x4x4	40x4x4	40x4x4	50x4x4	50x7x4	60x7x4

Notes: 1. Specifications without fiber connectors.
 2. Room temperature test.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Cedric F. Lam Passive Optical Networks: Principles and Practice. ELSEVIER.2007. pp. 8-10, 37-69; 31-33; 91-92. /Fecha de acceso: Enero 2012
- [2] Bob Chomycz. Planning Fiber Optics Networks. McGraw- Hill's 2009. pp.28. / Fecha de acceso: Enero 2012
- [3] KASAP, SAFA O. Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices. Prentice Hall. 2001. pp. 51-90. / Fecha de acceso: Enero del 2012
- [4] Govind P. Agrawal. Lightwave Technology 2004. pp. 22-34. /Fecha de acceso: Enero 2012
- [5] Alfred Miguel Pastor Momparle. Curso de introducción a la tecnología DWDM www.uv.es/~alfred/TEMA1_FIBRAS_Y_DISPERSION.pdf (Marzo del 2011). / Fecha de acceso: Enero 2012
- [6] International communication unión (ITU). Series G: Transmission System and media, Digital System and Networks. www.icsgroup.ru/upload/.../G.652-200506.pdf (Junio del 2005). /Fecha de acceso: Enero 2012
- [7] David Bailey, Edwin Wright. Practical Fiber Optics. IDC Technologies. Cap 8 172-181. /Fecha de acceso: Enero 2012
- [8] Miguel Loor, Ramiro Novoa. Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón. (Enero del 2011). /Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [9] 1.25Gbps Single fiber bi-directional SFP transceiver. Fiberxon. <http://www.fiberxon.com> . (Junio 2007). /Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [10] EPON OLT optical transceiver SFF module, 10Km EPON ONU optical transceiver SFF module. WTD Empowering the fiber. <http://www.wtd.com.cn>. (diciembre 2009). /Fecha de acceso: Febrero 2012
- [11] Hitachi optical fiber cable. <http://www.hitachi-cable.co.jp> / Fecha de acceso: Febrero 2012
- [12] Corning SMF-28e+ "Optical fiber with Nexcor". Corning. www.corning.com/opticalfiber. (Mayo 2007). /Fecha de acceso: Febrero 2012
- [13] Planar optical splitter/ coupler chip. Enablence. www.enablence.com . / Fecha de acceso: Febrero 2012
- [14] Planar light wave circuit splitter (PLCS). SOPTO. www.sopto.com . /Fecha de acceso: Febrero 2012
- [15] Manuel F. Barcell, Redes de acceso al medio. (Febrero 2006). <http://www.mfbarcell.es/>. /Fecha de acceso: Enero 2012
- [16] FOA Inc, Design Guide.doc (Octubre 2011) pp 1-6. <http://www.thefoa.org/> . /Fecha de acceso: Febrero 2012

- [17] Maria S. Jimenez. Comunicaciones Ópticas. (Edición 2007) pp 40-44 /Fecha de acceso: Febrero 2012
- [18] Jose Cañas, Miguel Ontaño; Redes de acceso ópticas.doc (Abril del 2004) / Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [19] Cable de cobre. <http://chatoringo.blogspot.com/2009/09/alambre-de-cobre.html>. (Septiembre 2009). / Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [20] cable coaxial. <http://jose-redes-jose.blogspot.com/2010/05/medios-de-transmision-fisica-cable.html>. (Junio del 2010). /Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [21] EURESCOM. "Medios de transmisión". (Marzo 2002). / Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [22] Miya T. Terunuma Y. Osaka T, Miyashita T. Loss spectrum single mode fiber. IEEE 1979. /Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [23] David Gutierrez. Apertura numérica. <http://es.scribd.com/doc/50925224/APERTURA-NUMERICA>. (Marzo del 2010). /Fecha de acceso: Enero 2012
- [24] KEYMILE 2008 White paper AON VS EPON. (Junio del 2008). /Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [25] TELNET. Redes inteligentes. <http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/gpon-fttd-fibra-hasta-el-escritorio/>. (26 de Julio 2010). / Fecha de acceso: Febrero del 2012
- [26] Reina, Santiago y Antón Serna, Héctor. "Redes EPON derivados". [http://es.wikitel.info/wiki/UA-Redes PON EPON derivados](http://es.wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_EPON_derivados) . (Julio 2010). / Fecha de acceso: Diciembre 2011
- [27] Okelectronic. FTTH System Devices and Equipments. <http://oakkar7.wordpress.com/2010/01/14/ftth-system-devices-and-equipments/> . (Enero del 2010). /Fecha de acceso: Febrero 2012