



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE  
SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título:**

**Ingeniero en Telecomunicaciones  
con Mención en Gestión Empresarial**

**TEMA:  
ESTUDIO, ANALISIS Y PROPUESTA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GPON PARA  
LA UCSG**

**REALIZADO POR:**

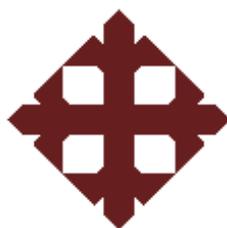
Carlos Ernesto Espinoza Briggs

Jonathan Ricardo Baque Choez

**DIRECTOR:**

**Ing. Néstor Zamora  
Guayaquil – Ecuador**

**2009 – 2010**



**TESIS DE GRADO**

TEMA:

**ESTUDIO, ANALISIS Y PROPUESTA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GPON PARA  
LA UCSG**

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

**REALIZADO POR:**

Carlos Ernesto Espinoza Briggs

Jonathan Ricardo Baque Choez

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el título de:  
**Ingeniero en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial**

Ing., Nestor Zamora  
Director de Tesis

Ing.....

Ing.....

**Vocal**

**Vocal**

**Ing. Héctor Cedeño**  
**Decano de la Facultad**

**Ing. Pedro Tutivén**  
**Director de Carrera**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el proyecto de grado titulado “**ESTUDIO, ANALISIS Y PROPUESTA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GPON PARA LA UCSG**”, desarrollado por Carlos Ernesto Espinoza Briggs y Jonathan Ricardo Baque Choez, fue realizado, corregido y terminado, razón por la cual está apto para su presentación y sustentación.

**Ing. Nestor Zamora**  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a Dios y todas las personas que han hecho posible terminar con éxitos este proyecto que para mí significa un logro más en mi vida, y un escalón mas hacia esa cumbre a la que quiero llegar, a mis padres la Dra. Alicia Briggs Maridueña y el ABG. Carlos Espinoza Rosero a los cuales les agradeceré eternamente por todo lo brindado, han sido un ejemplo, empuje y el aceite que mueve los engranajes de mi vida, si no fuera por ellos y esa voluntad sincera que siempre han tenido para conmigo esto no sería posible que Dios me los tenga presente durante toda su vida.

“Va por ustedes queridos padres ustedes son la tea que alumbra mi vida”...

Carlos Ernesto Espinoza Briggs.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación.

Para mis Padres Teófilo Baque Calderón y Cecilia Choez Quijije, por su comprensión y ayuda en cada una de las escenas de mi vida. A ellos que me han enseñado a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han enseñado todo lo que soy como persona, valores, principios, perseverancia y mi empeño, pero todo aquello ha sido con una gran dosis de amor sin perder nada a cambio.

Para mi hermano Darwin Baque Choez quien me ha inculcado seguir el camino del bien, me ha extendido la mano cuando más la he necesitado económica y moralmente.

Para mi Tía Nelly Choez Quijije quien siempre desde pequeño me aconsejó y me guió por el camino del bien y siempre ha estado apoyándome moralmente desde la distancia, aunque no está cerca la llevo presente en mi corazón

Para mi abuela Rosario Quijije Lucas que en paz descanse, el sueño de ella siempre fue estar en mi graduación; pero Dios quiso que ella desde el Cielo observe mi meta cumplida.

**Jonathan Ricardo Baque Choez**

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de nosotros y su director, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que citaré y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación para hallar esa salida y solución tan ansiada.

Primero y antes que nada, dar gracias a **Dios**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de Estudio dentro de mi tan querida UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL.

Agradecer hoy y siempre a mi familia que siempre me han apoyado dándome aliento y fuerzas para continuar y enseñarme que en la vida las cosas no son fáciles que solo se consiguen con esfuerzo y dedicación.

A mis padres el ABG. CARLOS ERNESTO ESPINOZA ROSERO y la DRA. ALICIA TERESA BRIGGS MARIDUEÑA que son la Tea que alumbra mi vida nunca dejaron de encender esa llama y que siempre pendientes de mi me han hecho un hombre que busca su destino no el pasado sino en lo que está por venir no en lo que se termino sino en lo que se está dando y que la vida es una rueda que da vueltas y si no aprovechamos esos momentos en los que se presentan oportunidades pues las oportunidades nos van a dejar a un lado, por ser esos padres que todo hijo quisiera tener esos compañeros esos amigos que siempre sentir poseer y por ser mi soporte en todo sinceramente se los debo todo a ustedes y creo que no me alcanzará la vida para pagarles todo lo que han hecho por mí.

Quiero retomar mi agradecimiento sincero a ese ser Poderoso que se encuentra en los cielos porque me lo ha brindado todo, el tener con vida a mis Padres y darme una familia la cual adoro con todas mis fuerzas y me siento muy orgulloso de cada paso que doy junto a ellos y no me arrepiento de nada de lo que haya hecho es más me siento orgulloso de mi esposa la ING. DANIELA JACQUELINE CONSTANTE ZAMBRANO y mi hijo CARLITOS ANDRES ESPINOZA CONSTANTE dos ángeles que aparecieron en mi vida en el momento que mas los necesitaba cuando todo se derrumbaba ahí estaban para ayudarme a levantar y están conmigo día a día con su cariño con sus caricias y sus ternuras mi hijo cada día crece y crece y quiero brindarle todo, que vea en mi lo que mis padres han formado y que mi pequeña nueva familia se de cuenta que todo este esfuerzo va por ellos, gracias por lo brindado los amaré toda la vida.

También quiero darles gracias a personas que de una u otra manera me han brindado su apoyo incondicional como lo son mi hermana la DRA. CAROLINA ALICIA ESPINOZA BRIGGS. Que ha sido la confidente de todas mis cosas y la persona que siempre me brindo su tiempo y espacio para compartir entre penas y alegrías

discusiones y risas he vivido con ella prácticamente todos los días de mi vida y agradecerle por ser esa hermana esa compañera la cual siempre creyó en mi y nunca dejo que cayera o que nadie me derrumbara, sigue adelante sabes que apoyare cada meta y cada proyecto que quieras emprender no te dejare sola, como tú nunca lo hiciste y quiero decirte que también fuiste un ejemplo en mi vida te deseo lo mejor siempre, te amo hermana.

A las personas que en el camino me fueron abandonando pero no por decisión de ellos Dios los llamo y estoy seguro que están a su lado y desde ahí guían cada paso que doy en la vida, mis queridos abuelos TERESA DEL ROSARIO MARIDUEÑA MARTINEZ, SEGUNDO DANIEL ESPINOZA AYALA, MARIA FRANCISCA ROSERO PARRA que con sus bendiciones desde el cielo son una brújula que me indican el norte en cada decisión que tomo en la vida, les doy las gracias por lo que me brindaron mientras estuvieron conmigo.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a mi Director de tesis El Ing. NÉSTOR ZAMORA y al Ing. MANUEL ROMERO PAZ que nos han ayudado día a día a avanzar en este proyecto y a brindar a la Universidad una propuesta para mejorar el estatus de mi querida UCSG. A mis profesores que han aportado clase a clase sus enseñanzas y de los cuales he aprendido muchas cosas las cuales demostrare en el ámbito profesional en los días futuros de mi vida y a mis queridas secretarias LIGIA Y ALEXANDRA ya que dentro de los ámbitos que a cada uno le competen me han colaborado sin ponerme ningún impedimento, al contrario, me han brindado siempre una sonrisa. Incondicionalmente gracias por todo.

A mi más fiel grupo de amigos y compañeros que juntos aprendimos y vivimos muchas experiencias política tanto en la federación como en la asociación y a esa camiseta verde innovación que nunca la olvidaré, camiseta de cambio y progreso.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido Conmigo la realización de este proyecto, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

# INDICE

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	12
<b>CAPITULO 1      GENERALIDADES DE LA FIBRA OPTICA</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	14
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4 HIPÓTESIS	18
1.5 OBJETIVOS	18
1.6 FUNDAMENTACION TEORICA	19
1.6.1 Fibra óptica	19
1.6.2 Historia	19
1.6.3 Ventajas de la Fibra Óptica	22
1.6.4 Desventajas de la Fibra Óptica	23
1.6.5 Tipos de fibra por su composición	23
1.6.5.1 Cable de estructura holgada	24
1.6.5.2 Cable de estructura ajustada	25
1.6.6 Otros tipos de cable de fibra óptica	26
1.6.7 Clasificación de las Fibras Ópticas	28
1.6.7.1 Las fibras ópticas Multimodo	28
1.6.7.2 Las fibras ópticas Monomodo	30
1.7 FENOMENOS QUE SE PRESENTAN EN LA TRANSMISION DE SEÑALES OPTICAS	32
1.7.1 Atenuación	32
1.7.2 Dispersión	32
1.7.2.1 Dispersión modal	33
1.7.2.2 Dispersión cromática	33
1.7.2.3 Dispersión de modo de polarización	35
1.8 COMUNICACIÓN OPTICA	35
1.8.1 Componentes de un sistema de Fibra Óptica	36
1.8.1.1 Diodos LEDs	36

1.8.1.2	Diodos Laser	37
1.8.2	Detectores (Conversores Luz-Corriente eléctrica)	37
1.8.2.1	Detectores PIN	38
1.8.2.2	Detectores APD	38
1.8.3	Acopladores	39
1.8.4	Filtros	39
1.8.5	Amplificadores Ópticos	40
1.8.6	Conectores	41
1.9	ESQUEMAS DE MULTIPLEXACIÓN EN SISTEMAS ÓPTICOS	42
1.9.1	Multiplexación TDM	43
1.9.2	Multiplexación FDM	43
1.9.3	Multiplexación CDM	44
1.9.4	Multiplexación WDM	44
1.10	ARQUITECTURAS DE ACCESO EN REDES DE FIBRA.	44
1.10.1	Solución FTTx	45
1.10.2	Solución FTTB	45
1.10.3	Solución FTTH	46
1.10.4	Solución FTTC	46
1.10.5	Solución FTTN	47
1.11	REDES PON	47
1.11.1	Ventajas de las redes ópticas pasivas	50
1.11.2	Estructura y funcionamiento de una red PON	50
1.11.2.1	Canal descendente o downstream	50
1.11.2.2	Canal ascendente o upstream	51
1.11.3	Tipos de redes PON	51
1.11.3.1	APON	51
1.11.3.2	BPON	52
<b>CAPITULO 2</b>	<b>INTRODUCCION A LA RED G-PON</b>	<b>53</b>
2.1	TRANSMISIONES Y SERVICIOS G-PON	53
2.2	¿QUE ES G-PON?	54
2.3	ESTRUCTURA FUNCIONAMIENTO Y ARQUITECTURA DE UNA RED G-PON	54

2.3.1	Funcionamiento de una red G-PON	
2.3.2	Arquitectura de una red G-PON	56
2.3.3	Estructura de una red G-PON	57
2.4	EQUIPOS ÓPTICOS Y PASIVOS DE REDES G-PON	58
2.5	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CAPACIDADES DE G-PON.	60
2.5.1	La división de la señal de la central a los usuarios	61
2.5.2	Canales en G-PON	61
2.5.3	Normas Técnicas y alcance de G-PON	62
2.6	FORMAS DE EXTENDER REDES G-PON	63
2.6.1	Extendiendo una red G-PON de 20 Km a 60 Km	63
2.6.2	Ampliando el número de usuarios de una red G-PON de 64 a 128	64
2.6.3	Extendiendo las ramas de una G-PON	65
2.7	ESTÁNDARES Y NORMATIVAS TÉCNICAS PARA G-PON.	66
2.8	G-PON EN EL MUNDO	67
2.9	VENTAJAS, OBJETIVOS Y SEGURIDAD DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS	69
2.9.1	<b>¿GPON es seguro?</b>	<b>70</b>
2.9.2	Ventajas de las redes G-PON	70
2.9.3	<b>Objetivos de GPON</b>	<b>71</b>
2.10	EL PROTOCOLO OMCI (ONT MANAGEMENT AND CONTROL INTERFACE)	71
2.11	ANALIZADOR DE REDES G-PON	72
2.11.1	Características Técnicas Generales de Dr. G-PON	73
2.11.2	Diagnóstico y análisis OMCI Dr. GPON	75
2.11.3	Aplicaciones	75
2.11.4	Casos de uso	75
CAPITULO 3	DISEÑO DE LA PROPUESTA DE UNA RED GPON PARA LA UCSG	76
3.1	CONSIDERACIONES	76
3.2	PRINCIPALES EMPRESAS DE SERVICIOS PORTADORES EN EL PAÍS	77
3.3	ESTADO ACTUAL DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE LA UCSG	77

3.4	DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA UCSG.	82
3.5	ELEMENTOS PASIVOS DE LA RED G-PON PARA LA UCSG.	82
3.6	MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y CONECTORES DEL PROYECTO DE LA RED INTERNA PARA LA UCSG	85
3.6.1	El medio de Transmisión	85
3.6.2	Los conectores	85
3.6.2.1	Componentes de un Conector	86
3.6.2.2	Tipos de conectores de Fibra Óptica	87
3.7	EQUIPOS DE TRANSMISIÓN OLT	89
3.8	TELLABS PROVEEDOR DE INFORMACION EN SERVICIOS G-PON PARA EL PROYECTO EN LA UCSG.	90
3.9	EQUIPOS TERMINALES ONTS	91
3.9.1	Características técnicas del ONT	92
3.9.2	Beneficios de ONTs TELLABS para la UCSG.	92
3.10	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO G-PON EN LA UCSG	94
3.11	PRESENTACION DEL PROYECTO	96
3.11.1	Maqueta de la UCSG con el tendido de F.O.	96
3.11.2	Tablero electrónico	99
3.11.3	Tablero de MDF	102
3.12	PRESUPUESTO DE MATERIALES Y ELEMENTOS ENTREGADOS A LA UCSG	103
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>104</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>105</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>105</b>
	<b>GLOSARIO</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>110</b>

## **INDICE DE TABLAS Y FIGURAS ANALISIS Y PROPUESTA G-PON PARA LA UCSG.**

### **CAPITULO 1            FIBRA HASTA EL HOGAR**

Tabla 1.1	Comparación de las principales tecnologías PON	21
Tabla 1.2	Diferentes tipos de Conectores de Fibra Óptica.	41
Figura 1.1	Cable de tubo holgado	24
Figura 1.2	Tubo holgado de cable de fibra óptica	25
Figura 1.3	Cable de estructura ajustada	26
Figura 1.4	Cable de fibra óptica con armadura	27
Figura 1.5	Cable multimodo	28
Figura 1.6	Cable monomodo	30
Figura 1.7	Dispersión en una fibra óptica	33
Figura 1.8	Solución FTTx	45
Figura 1.9	Solución FTTB	45
Figura 1.10	Solución FTTH	46
Figura 1.11	Solución FTTC	47
Figura 1.12	Solución FTTN	47
Figura 1.13	Redes PON	48
Figura 1.14	Redes FTTX	48

### **CAPITULO 2            SOLUCIONES G-PON**

Tabla 2.1	ESCENARIOS Y CONSECUENCIAS DE GPON EN EL MUNDO.	68
Figura 2.1	Arquitectura de red de GPON	56
Figura 2.2	OLTs.	58
Figura 2.3	Splitters ópticos	59
Figura 2.4	ONT Unidad Óptica de Usuarios	60
Figura 2.5	Modelo de red GPON básica.	61
Figura 2.6	Canales ascendentes y descendentes	62
Figura 2.7	Uso del GPON-Extender	64
Figura 2.8	Uso del GPON-Extender en distancias largas	65
Figura 2.9	Uso del GPON-Extender en nuevas zonas	66
Figura 2.10	DOCTOR G- PON	73

**CAPITULO 3            EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL ANALISIS**  
**GPON EN LA UCSG.**

Tabla 3.1	Principales empresas de servicios portadores en el país	79
Tabla 3.2	Laboratorio existentes en la UCSG	80
Tabla 3.3	Splitters a utilizarse en Proyecto G-PON para la UCSG	84
Tabla 3.4	ONTs a utilizarse en Proyecto G-Pon para la UCSG	94
Tabla 3.5	Precios unitarios de los elementos para la implementación de la red GPON	95
Figura 3.1	Facultades de la UCSG	80
Figura 3.2	Canalización existente por donde pasa la red de F.O. en la UCSG.	81
Figura 3.3	Diseño global de la red de fibra óptica punto a punto existente	83
Figura 3.4	Conectores FC a utilizarse en la red G-PON	86
Figura 3.5	OLT	89
Figura 3.6	ONTs TELABS para la red de fibra Óptica	91
Figura 3.7	Modelos de ONTs para rack y para facultad.	92
Figura 3.8	Fotos del diseño y construcción de la maqueta.	96
Figura 3.9	Fotos de la maqueta terminada con el tendido de F.O. en alto relieve.	97
Figura 3.10	Fotos de la maqueta terminada con el tendido de F.O.	98
Figura 3.11	Fotos de la elaboración del tablero electrónico.	100
Figura 3.12	Foto del tablero electrónico.	101
Figura 3.13	Fotos del tablero de MDF	102

## **CAPITULO 1      GENERALIDADES DE LA FIBRA OPTICA**

### **INTRODUCCION**

Hoy en día la red de Fibra Óptica existente en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (**UCSG**) no es aprovechada ni se optimizan sus beneficios como se lo debería hacer, esto se debe en gran parte a la poca innovación tecnológica realizada. Hay que considerar que el contrato para su implementación fue firmado con la compañía **IBM** en el año de 1995 y desde ese entonces no se le ha dado el mantenimiento necesario y mucho menos las mejoras tecnológicas para lograr los altos índices de velocidad de transmisión de los que es capaz este medio de transmisión de alta jerarquía.

El objetivo de este trabajo es presentar los principios básicos de funcionamiento de la tecnología **GPON** (Gigabit-capable Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit) y como una alternativa para ser implementada en la **UCSG**.

La fibra óptica puede considerarse como el medio de transmisión más rápido del mundo y el elemento con mayor capacidad de transmisión de información. Estas características pueden ser utilizadas para llegar hacia empresas e instituciones que necesiten este tipo de enlaces con todas las bondades de la misma.

Además tiene muchas otras ventajas, como bajas pérdidas de señal, tamaño y pesos reducidos, inmunidad frente a emisiones electromagnéticas y de radiofrecuencia y seguridad.

En la primera parte de este trabajo se presentarán los antecedentes y la justificación que motivaron la realización de esta investigación, presentando el problema a investigarse, la hipótesis elaborada, los objetivos de este proyecto y los primeros fundamentos teóricos desarrollados sobre este tema.

## 1.1 ANTECEDENTES

Han pasado muchos años desde que las primeras formas de comunicación humana se establecieron en la Tierra, las señales de humo o la comunicación vocal son formas de transmisión de información que nuestros ancestros empleaban cuando aún no se podía soñar ni siquiera con algo parecido a Internet.

Hoy en día, en el mundo que vivimos, estamos rodeados por completo de formas de comunicación: semáforos, televisores, radio; de entre todas las tecnologías de transmisión empleadas, destaca una por encima de todas: la luz a través de los cables de fibra óptica.

El uso de la luz en la codificación de señales no es nuevo, los antiguos griegos usaban espejos para transmitir información de modo rudimentario usando luz solar. En 1792, Claude Chappe diseñó un sistema de telegrafía óptica, que mediante el uso de un código, torres y espejos distribuidos a lo largo de los 200 km que separan Lille y París, conseguía transmitir un mensaje en tan sólo 15 minutos, así demostró un sistema práctico de telegrafía óptica que se extendió por toda Francia. Este fue el primer sistema práctico de telecomunicaciones, y puede considerarse a Chappe como el primer magnate de las comunicaciones.

La gran novedad aportada en nuestra época es el haber conseguido “dominar” la luz, de modo que sea posible que se propague dentro de un cable tendido por el hombre. El uso de la luz guiada, de modo que no se expanda en todas direcciones, sino en una muy concreta y predefinida se ha conseguido mediante la fibra óptica, la cual podemos considerar como un conducto de vidrio (fibra de vidrio ultra delgada) protegida por un material aislante que sirve para transportar la señal lumínica de un punto a otro.

Los usuarios de telecomunicaciones ya están cansados de tanta competencia en ancho de banda entre operadores, lo que demandan es una competencia en servicios innovadores tales como **HDTV** (High Definition Television, Televisión de Alta Definición), vídeo bajo demanda, videoconferencia, etc. De esta forma, los principales operadores del mundo están definiendo avanzadas redes convergentes de banda ancha basadas en **IP** (Internet Protocol, Protocolo de Internet).

Entre las tecnologías más interesantes que están permitiendo esta convergencia cabe destacar en la parte del bucle de abonado a **GPON** la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más avanzada en la actualidad.

Las economías de escala y experiencia acumulada en el núcleo de la red, con elevados niveles de tráfico sobre sistemas **WDM** (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda), ha permitido que la viabilidad económica de la fibra y los componentes ópticos sea un hecho.

La fibra óptica es el medio de transmisión más avanzado y el único capaz de soportar los servicios de nueva generación, como televisión de alta definición. Las principales ventajas de tener un bucle de abonado de fibra óptica son muchas: mayores anchos de banda, mayores distancias desde la central hasta el abonado, mayor resistencia a la interferencia electromagnética, mayor seguridad, menor degradación de las señales. Además, la reducción de repetidores y otros dispositivos supondrán menores inversiones iniciales, menor consumo eléctrico, menor espacio, menos puntos de fallo, etc.

La obra civil a realizar para el tendido de fibra puede verse reducido a partir de innovadoras alternativas. Los gobiernos de todas las naciones reconocen la necesidad de desplegar redes de fibra óptica para mejorar la competitividad de sus economías. Los principales operadores de telecomunicaciones del mundo también han comenzado el despliegue de **GPON**.

Los principales suministradores de equipos de telecomunicación (Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, Nokia-Siemens, ZTE, etc.) ofrecen soluciones **GPON**. Todo esto da muestras del prometedor futuro de esta tecnología emergente.

## **1.2 JUSTIFICACION**

La elección de una red **GPON** como proyecto de investigación es sin duda la oportunidad de implementarla en los enlaces de **F.O.** (Fibra Óptica) en nuestro medio y particularmente en la **UCSG**, para que pueda ser implementada a futuro mediante inversiones que permitan tener la mejor red de datos del país, para que cada laboratorio,

puntos de acceso y equipos terminales gozan de esta tecnología que permite mayor velocidad, fidelidad, anchos de banda que alcancen el rango de los Gbps., por lo que está considerada mundialmente como el futuro de la transmisión de datos a gran escala. Debido a la gran demanda en servicios de comunicación y transmisión de datos, varias empresas en el Ecuador han decidido optar por la fibra óptica como medio de transmisión. Hoy en día Telconet, Telmex, Global Crossing, Grupo TV Cable, CNT, etc. tienen una red de cables de **F.O.** tendida en diferentes puntos o nodos que son centrales desde donde se envía el servicio hacia diferentes tipos de abonados, sin embargo, en las redes de **F.O.** existentes no se aprovecha la capacidad de cada uno de los hilos de la misma, por lo que se debería llegar a una evaluación y revalidación de lo existente para buscar una mejora y un uso correcto del medio de transmisión, este trabajo realizará ese estudio en la red existente en la **UCSG**.

El uso de la tecnología **GPON** en el Ecuador estaría directamente enfocado hacia clientes corporativos, entidades universitarias como la **UCSG** que necesitan el avance que les permitiría la implementación de tecnologías actualizadas, y porque no llegar a las empresas mencionadas que poseen una red de cableado estructurado dentro del país, por lo que se busca la optimización de la misma por medio de equipos ópticos pasivos llamados **Splitter** los cuales nos permiten tener el mejor acceso punto–multipunto con un ancho de banda aun no comparado con otras tecnologías.

Este proyecto está enfocado básicamente en la evaluación de la red de **F.O.** existente en la **UCSG**, el funcionamiento de los nodos con los que cuenta en la actualidad esta entidad Universitaria, y presentar la manera de optimizar el proceso de transmisión de datos de la mencionada red interna de la universidad por medio de planos arquitectónicos, realizando las respectivas investigaciones, pidiendo autorizaciones, permisos mediante los convenios existentes entre la **CNT** (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) y la **UCSG** a través de la Facultad Técnica Para El Desarrollo. Como un ejemplo de la implementación de una red **GPON** se presentará una maqueta en la cual se demostrará cómo funcionaría la red interna para todas las facultades y la conexión de los respectivos equipos finales existentes en cada laboratorio con los que cuenta la universidad, esto se obtendrá mediante investigación y ayuda de colegas de las facultades de Ingeniería en Sistemas y Arquitectura.

### **1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA**

La red de fibra óptica existente en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil no está siendo aprovechada en toda su capacidad para transmitir información.

### **1.4 HIPOTESIS**

El estudio, análisis y diseño de una red utilizando la tecnología **GPON** para su futura implementación, permitiría mejorar la capacidad de transmisión de la red de fibra óptica que posee la institución.

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Planificar, proponer y recomendar una posible solución para optimizar la red existente de cables de fibra óptica mediante la utilización de la tecnología **GPON** en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, para permitir la transmisión de datos a gran escala dentro de la misma para todos los equipos finales de la universidad.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Efectuar estudios de la red de **F.O.** existente en la **UCSG**.
- Investigar los dispositivos que se requieren para implementar una red **GPON**.
- Construir una maqueta de la red de la **UCSG** actual donde se simulará la futura red **GPON**.
- Elaborar un presupuesto de los equipos y materiales para implementar una red **GPON**, utilizando la red interna de **F.O.** de la **UCSG**.
- Presentación de los equipos activos, pasivos y materiales a utilizarse en una red **GPON**, para futuros estudios de la Facultad Técnica para el Desarrollo en la Carrera de ingeniería en Telecomunicaciones, para materias como **F.O** y otras relacionadas con la misma.

## 1.6 FUNDAMENTACION TEORICA

En el desarrollo de la fundamentación teórica se presenta en primer lugar algunas características del cable de fibra óptica y datos de la evolución histórica de la tecnología **GPON**.

### 1.6.1 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; 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. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un **LED** (Light Emission Diode, Diodo Emisor de Luz).

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y/o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite una alta confiabilidad y fiabilidad. El actual desarrollo de las telecomunicaciones ha impulsado la necesidad de implementar redes de banda ancha que permitan el transporte de ciertos servicios como: televisión por cable, Internet de alta velocidad, aplicaciones de voz, etc. En los últimos años la fibra óptica se ha convertido en uno de los medios de transmisión más usados debido a las ventajas que ofrece, como la disminución de ruido e interferencias y la multiplicación de la capacidad de transmisión

### 1.6.2 Historia

A finales de los años 90, la tecnología **PON** (Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva) comenzó a ser considerada tanto por las operadoras como por los suministradores como una interesante solución para ofrecer acceso de fibra óptica hasta los usuarios residenciales. Su naturaleza punto a multipunto, resultaría en ahorros significativos en la instalación de la fibra óptica y en interfaces ópticos. Además, **PON**

no requiere de dispositivos electrónicos u opto electrónicos activos para la conexión entre el abonado y el operador y, por lo tanto, supone una inversión y unos costos de mantenimiento considerablemente menores.

A medida que la fibra se abarataba y los distintos organismos regulatorios de cada país se interesaban más por las conexiones de redes de fibra óptica, los operadores y fabricantes comenzaron a impulsar las tecnologías **PON**. En 1995, se formó el **FSAN** (Full Service Access Network), con el fin de promover estándares mediante la definición de un conjunto básico de requerimientos y, de este modo, mejorar la interoperabilidad y reducir el precio de los equipos. Las especificaciones de **PON** del **FSAN**, formado por los principales operadores y suministradores de equipos de telecomunicaciones del mundo, reflejan las necesidades y el consenso de sus miembros.

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

En 2001, el **FSAN** presenta **BPON** (Broadband **PON** - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha), una tecnología que también se basa en **ATM**, con el problema de costos y complejidad que ello supone, pero introduce una longitud de onda adicional para transportar vídeo **RF** (Radio Frecuencia). Mientras **BPON** estaba siendo desplegado, con un gran éxito en Japón y EEUU, se definían **EPON** (Ethernet **PON**) y **GPON**.

**EPON** era definido en 2004 por el grupo **EFM** (Ethernet First Mile) del **IEEE** (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) como la técnica **PON** de nueva generación que, influenciada por la tecnología Gigabit Ethernet existente, permitía a los suministradores de equipos lanzar rápidamente al mercado equipos de mayores anchos de banda a precios más competitivos.

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

Unos meses antes que **EPON**, también en 2004, se terminaba de definir **GPON** por parte del **ITU-T** (International Telecommunications Union – Telecommunication Sector). El estándar incluye varias velocidades de línea de hasta 2,488 Gbps simétricas y asimétricas. Con una menor sobrecarga de codificación y tiempos de guarda menores, el ancho de banda neto de **GPON** es mucho mayor que el de **EPON**.

Además de transportar tráfico de datos nativo, **GPON** también es capaz de transportar eficientemente otros servicios. El único problema en el momento de su definición era la mayor complejidad de esta tecnología y de los componentes, que hacían imposible tener productos comerciales en tan poco tiempo como en **EPON**. Sin embargo, desde el año 2006 este problema está resuelto y ya hay muchos operadores que han comenzado su despliegue.

En la Tabla 1.1 se presenta la comparación de las principales tecnologías **PON**.

**Tabla 1.1 Comparación de las principales tecnologías PON**

Características	ITU-T BPON	ITU-T GPON	ITU-T EPON
Tasa de bits (Mbps)	down: 1.244, 622, 155 up: 622, 155	down: 2.488, 1.244 up: 2.488, 1.244, 622, 155	down: 1.250 up: 1.250
Codificación de línea	NRZ (+ scrambling)	NRZ (+ scrambling)	8b/10b
Ratio de división máximo	1:32	1:128 (1:64 en la práctica)	1:32
Alcance máximo	20 km	60 km (con 20 km de distancia entre ONTs)	20 km
Estándares	Serie ITU-T G.983.x	Serie ITU-T G.984.x	IEEE 802.3ah
Soporte TDM	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes	TDM sobre paquetes
Soporte vídeo RF	No	Sí	No
Eficiencia típica (depende del servicio)	83% downstream 80% upstream	93% downstream 94% upstream	61% upstream 73% downstream

### 1.6.3 Ventajas de la fibra óptica

Las principales ventajas que presenta un cable de fibra óptica son las siguientes:

- La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps.
- Su baja atenuación, por ejemplo en la tercera ventana (1550 nm) la atenuación es de 0.2 dB/km. Esto permite realizar enlaces de forma que cada 80 o 100 Km. se coloque un amplificador o regenerador (a diferencia del cable coaxial que necesita un regenerador o amplificador cada 2 km).
- Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.
- Video y sonido en tiempo real.
- Fácil de instalar.
- Es inmune al ruido y las interferencias, como ocurre cuando un alambre telefónico pierde parte de su señal a otra.
- Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada.
- Carencia de señales eléctricas en la fibra, por lo que no pueden dar sacudidas ni otros peligros. Son convenientes para trabajar en ambientes explosivos.
- Presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes.
- El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, capaz de llevar un gran número de señales.
- El material con que se fabrica la fibra óptica, el SiO<sub>2</sub> es el más abundante en la tierra.
- Compatibilidad con la tecnología digital.

#### **1.6.4 Desventajas de la fibra óptica**

El costo de la fibra sólo se justifica cuando su gran capacidad de ancho de banda y baja atenuación es requerida. Para bajo ancho de banda puede ser una solución mucho más costosa que el conductor de cobre.

La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.

Las moléculas de hidrógeno pueden difundirse en las fibras de silicio y producir cambios en la atenuación. El agua corroe la superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.

Incipiente normativa internacional sobre algunos aspectos referentes a los parámetros de los componentes, calidad de la transmisión y pruebas

#### **1.6.5 Tipos de fibra por su composición**

Por su composición hay tres tipos disponibles de cables de fibra actualmente:

- Núcleo de plástico y cubierta plástica
- Núcleo de vidrio con cubierta de plástico (frecuentemente llamada fibra **PCS**, el núcleo de silicio y cubierta de plástico)
- Núcleo de vidrio y cubierta de vidrio (frecuentemente llamadas **SCS**, silicio cubierta de silicio).

Las fibras de plástico tienen ventajas sobre las fibras de vidrio por ser más flexibles y más fuertes, fáciles de instalar, pueden resistir mejor la presión, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos que el vidrio.

La desventaja es su característica de atenuación alta: no propagan la luz tan eficientemente como el vidrio. Por tanto las de plástico se limitan a distancias relativamente cortas, como puede ser dentro de un solo edificio.

Las fibras con núcleos de vidrio tienen baja atenuación. Sin embargo, las fibras **PCS** son un poco mejores que las fibras **SCS**. Además, las fibras **PCS** son menos afectadas por la radiación y, por lo tanto, más atractivas a las aplicaciones militares.

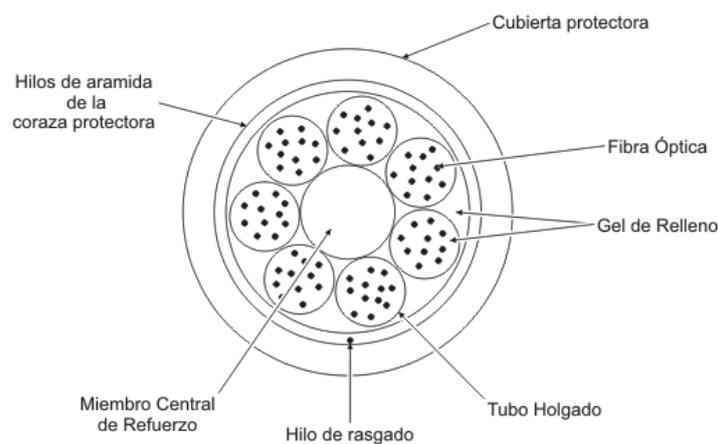
Desafortunadamente, los cables **SCS** son menos fuertes, y más sensibles al aumento en atenuación cuando se exponen a la radiación.

Las construcciones básicas disponibles en cables de fibra óptica son:

- Cable de estructura holgada y
- Cable de estructura ajustada.

### 1.6.5.1 Cable de estructura holgada

Consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora. El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra. Cada tubo, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente estar llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable, como se observa en la figura 1.1.

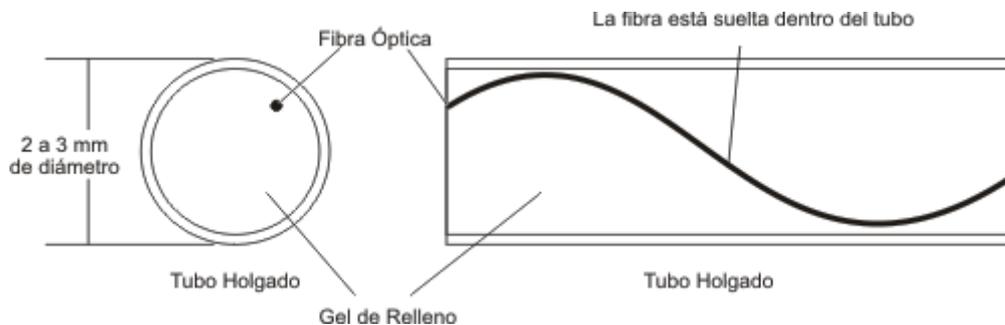


**Figura 1.1 Cable de tubo holgado**

El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar o un material similar. Este miembro proporciona al cable refuerzo y soporte durante las

operaciones de tendido, así como en las posiciones de instalación permanente. Debería amarrarse siempre con seguridad a la polea de tendido durante las operaciones de tendido del cable, y a los anclajes apropiados que hay en cajas de empalmes o paneles de conexión.

La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de armada, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores, como se observa en la figura 1.2. Con objeto de localizar los fallos con el **OTDR** (Optical Time Domain Reflectometer, Reflectómetro Óptico en el Dominio Tiempo) de una manera más fácil y precisa, la cubierta está secuencialmente numerada cada metro (o cada pie) por el fabricante.

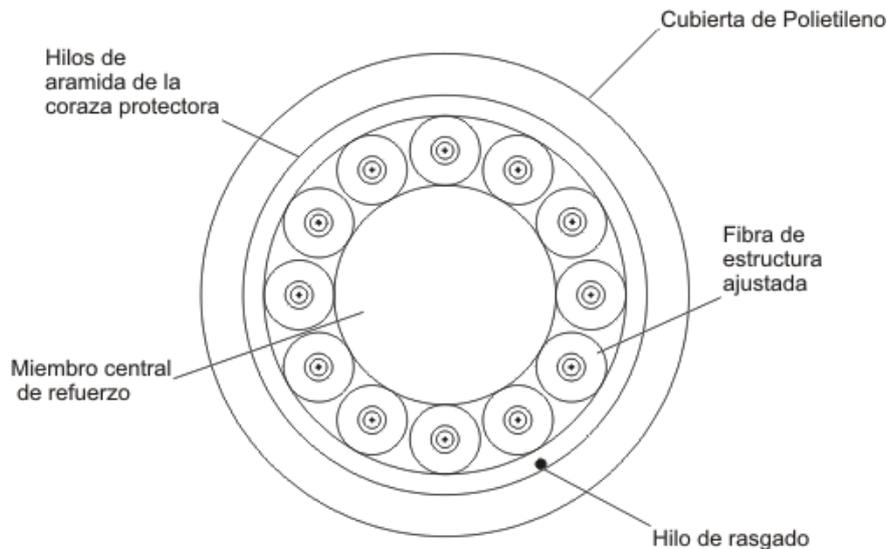


**Figura 1.2** Tubo holgado de cable de fibra óptica

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. El cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan.

### **1.6.5.2** Cable de estructura ajustada

Contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior. La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900  $\mu\text{m}$  de diámetro que rodea al recubrimiento de 250  $\mu\text{m}$  de la fibra óptica, como se puede ver en la figura 1.3.



**Figura 1.3 Cable de estructura ajustada**

La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado directamente en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el costo de la instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por micro curvaturas.

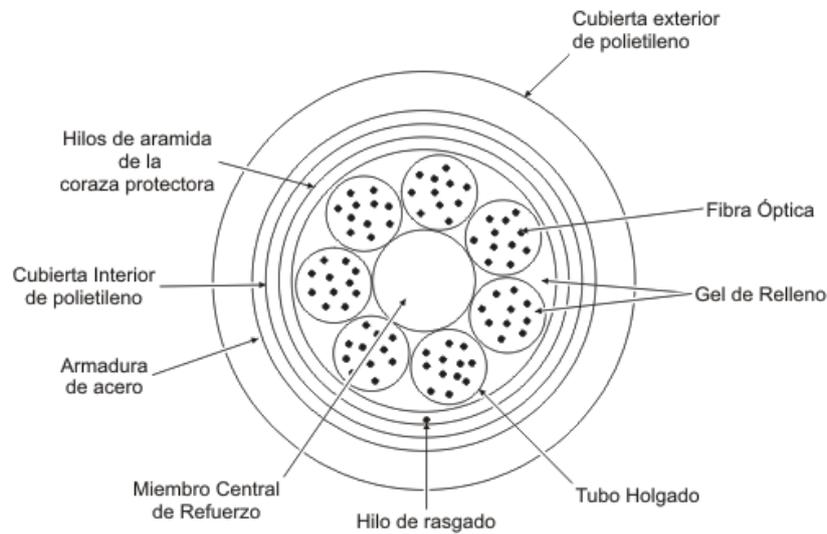
Por una parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer lugar es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra.

### 1.6.6 Otros tipos de cable de fibra óptica

Otros cables de fibra óptica disponibles son los siguientes:

**Cable blindado:** tiene una fina coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno. Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias

pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada (Ver la figura 1.4).



**Figura 1.4 Cable de fibra óptica con armadura**

**Cable aéreo autoportante:** también llamado autosoportado, tiene una estructura diseñada para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fijador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

**Cable submarino:** tiene una estructura holgada diseñada para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

**Cable compuesto tierra-óptico (OPGW):** es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

**Cables híbridos:** Es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

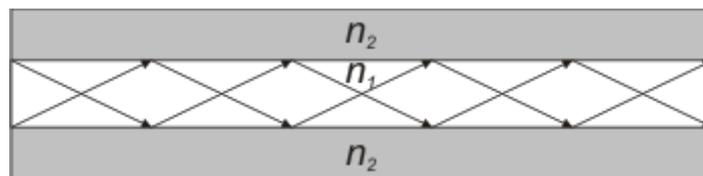
**Cable en abanico:** Es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conexión directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones).

### 1.6.7 Clasificación de las fibras ópticas

Las fibras ópticas utilizadas actualmente en el área de las telecomunicaciones se clasifican fundamentalmente en dos grupos según el modo de propagación: fibras multimodo y fibras monomodo.

#### 1.6.7.1 Las fibras ópticas multimodo

Son aquellas que pueden guiar y transmitir varios rayos de luz por sucesivas reflexiones o modos de propagación (Figura 1.5).



**Figura 1.5** Cable multimodo

Los modos son formas de ondas admisibles, la palabra **modo** significa trayectoria. Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km; es simple de diseñar y económico. Su distancia máxima es de 2 km y usan diodos láser de baja intensidad.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- **Índice abrupto:** en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- **Índice gradual:** mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales

Las fibras multimodo de índice gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500 MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta.

Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125  $\mu\text{m}$  (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, está normalizada en la recomendación **ITU G.651**.

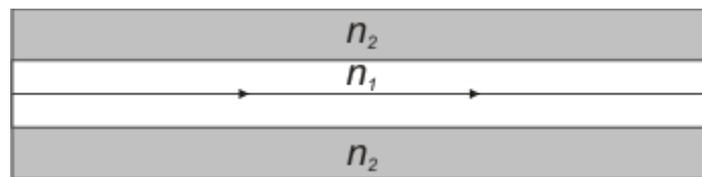
Las fibras multimodo de índice abrupto están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km.

Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea.

El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice abrupto.

### 1.6.7.2 Las fibras ópticas monomodo

Son aquellas que por su especial diseño pueden guiar y transmitir un solo rayo de luz (un modo de propagación) y tiene la particularidad de poseer un ancho de banda elevadísimo (Figura 1.6).



**Figura 1.6 Cable monomodo**

En estas fibras monomodo cuando se aplica el emisor de luz, el aprovechamiento es mínimo, también el costo es más elevado, la fabricación difícil y los acoples deben ser perfectos.

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación.

Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 300 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gb/s). Se pueden encontrar algunos tipos de cable de fibra monomodo:

**Fibra óptica monomodo estándar (Standard Single-Mode Fiber, SSMF):** esta fibra se caracteriza por una atenuación en torno a los 0,2 dB/km y una dispersión cromática de unos 16 ps/km-nm en la tercera ventana (1550 nm). La longitud de onda de dispersión nula se sitúa en torno a los 1310 nm (segunda ventana) donde su atenuación aumenta ligeramente.

Está normalizada en la recomendación **ITU G.652** y existen millones de kilómetros de este tipo de fibra instalados en redes ópticas en todo el mundo que se benefician de sus

bajas pérdidas a 1550 nm y de la utilización de los amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio **EDFA** (Erbium Doped Fiber Amplifier). Algunos ejemplos de este tipo de fibra serían: **SMF-28** (Corning) y **AllWave** (Lucent). En el segundo caso, además, la fibra se caracteriza por eliminar el pico de absorción de OH, por lo que dispone de una mayor anchura espectral para la transmisión en sistemas multicanal **CWDM** (Coarse **WDM**).

**Fibra óptica de dispersión desplazada (Dispersion-Shifted Fiber, DSF):** mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0,25 dB/km a 1550 nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar. Luego este tipo de fibras no son en principio adecuadas para sistemas **DWDM** (Dense wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas), ya que el fenómeno no lineal de mezclado de cuatro ondas (**FWM**) produce degradaciones significativas. Este tipo de fibras se describe en la recomendación **ITU G.653**.

**Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber, NZDSF):** para resolver los problemas de no linealidades de la fibra de dispersión desplazada surgieron este tipo de fibras, que se caracterizan por valores de dispersión cromática reducidos pero no nulos. En el mercado se pueden encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-), con el fin de ser utilizadas en sistemas de gestión de dispersión de acuerdo a la recomendación **ITU G.655**.

**Fibra óptica compensadora de dispersión (Dispersion Compensating Fiber, DCF):** este tipo de fibra se caracteriza por un valor de dispersión cromática elevado y de signo contrario al de la fibra estándar. Se utiliza en sistemas de compensación de dispersión, colocando un pequeño tramo de DCF para compensar la dispersión cromática acumulada en el enlace óptico. Como datos negativos, tiene una mayor atenuación que la fibra estándar (0,5 dB/km aprox.) y una menor área efectiva.

## 1.7 FENOMENOS QUE SE PRESENTAN EN LA TRANSMISION DE SEÑALES OPTICAS

La transmisión de luz en una fibra óptica no es 100% eficiente. La pérdida de luz en la transmisión es llamada **dispersión**. Varios factores influyen tales como la absorción por materiales dentro de la fibra, disipación de luz fuera del núcleo de la fibra y pérdidas de luz fuera del núcleo causado por factores ambientales. A continuación se detallan los fenómenos que afectan la transmisión de señales ópticas:

### 1.7.1 Atenuación

La atenuación en una fibra es medida al comparar la potencia de salida con la potencia de entrada. La Atenuación/Dispersión es medida en **decibeles** por unidad de longitud. Generalmente esta expresada en decibeles por kilometro (dB/km).

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ), expresadas en nanómetros:

- Primera ventana                      800 a 900 nm  $\lambda_{\text{central}} = 850\text{nm}$
- Segunda ventana                     1250 a 1350 nm  $\lambda_{\text{central}} = 1310\text{nm}$
- Tercera ventana                      1500 a 1600 nm  $\lambda_{\text{central}} = 1550\text{nm}$
- Cuarta ventana                        1625 nm (Banda L), está en desarrollo.
- Quinta ventana                        1470 nm minimizan las pérdidas debidas a la absorción de las moléculas de agua.

### 1.7.2 Dispersión

La dispersión es la distorsión de la señal, resultante de los distintos modos (simple y multimodo), debido a los diferentes tiempos de desplazamiento de una señal a través de la fibra. En un sistema modulado digitalmente, esto causa que el pulso recibido se ensanche en el tiempo. No hay pérdida de potencia en la dispersión, pero se reduce la potencia pico de la señal. La dispersión aplica tanto a señales analógicas como digitales. La dispersión es normalmente especificada en nanosegundos por kilometro (Figura 1.7)



**Figura 1.7 Dispersión en una fibra óptica**

La dispersión de la energía óptica cae en dos categorías: la dispersión modal y la dispersión espectral.

### **1.7.2.1 Dispersión modal**

La dispersión modal o esparcimiento del pulso, es causado por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. Obviamente, la dispersión modal puede ocurrir sólo en las fibras multimodo. Se puede reducir considerablemente usando fibras de índice gradual y casi se elimina totalmente usando fibras de índice de escalón de modo sencillo.

La dispersión modal puede causar que un pulso de energía de luz se disperse conforme se propaga por una fibra. Si el pulso que está esparciéndose es lo suficientemente severo, un pulso puede caer arriba del próximo pulso, así se produce la interferencia de intersímbolo.

En una fibra de índice de escalón multimodo, un rayo de luz que se propaga por el núcleo de la fibra requiere de la menor cantidad de tiempo para viajar a lo largo de la misma. Un rayo de luz que choca a la interface núcleo/cubierta óptica en el ángulo crítico sufrirá el número más alto de reflexiones internas y, en consecuencia, tomará la mayor cantidad de tiempo para viajar a lo largo de la fibra.

### **1.7.2.2 Dispersión cromática**

La dispersión cromática se debe a que el espectro de luz que proporciona la fuente contiene componentes a distintas longitudes de onda. Afecta a fibras monomodo y multimodo, siendo este tipo de dispersión la que limita la velocidad de transmisión en las fibras monomodo.

La fibra óptica convencional tiene un coeficiente de dispersión de guía de onda positivo; esto quiere decir que las longitudes de ondas mayores tienen mayor tiempo de tránsito a través de la fibra comparado con las longitudes de ondas cortas. Este diferencial de retardo hace que el pulso se deforme.

Las fuentes de luz que emiten un rango de longitudes de onda con una anchura espectral mayor causan que la deformación del pulso transmitido también sea mayor.

Esta deformación es continua a lo largo de todo el enlace de fibra, por lo cual a una mayor longitud se presentará una deformación mayor. En tramos largos de fibra la dispersión cromática puede generar **ISI** (Intersymbol Interference).

La sensibilidad a la dispersión cromática se incrementa linealmente con la distancia y de manera cuadrática con la velocidad de grupo de la onda.

La dispersión cromática es el resultado combinado de dos efectos diferentes: la dispersión del material y la dispersión de guía de onda

- ✓ En el vidrio de sílice, el índice, es dependiente de la longitud de onda de la señal. La dispersión del material explica el ensanchamiento de un pulso óptico debido a las velocidades diferentes de las frecuencias ópticas que constituyen un pulso.
- ✓ La dispersión de guía de onda se refiere a las diferencias en la velocidad de la señal que dependen de la distribución de la potencia óptica sobre el núcleo y el recubrimiento de la fibra óptica. Conforme la frecuencia de la señal óptica disminuye, la mayor parte de la señal óptica es transportada en el recubrimiento que tiene un índice refractivo diferente que el núcleo de la fibra.

La única manera de combatir los efectos negativos de la dispersión cromática es tratar de trabajar con una fuente de luz lo más coherente posible (luz compuesta por una sola longitud de onda).

### 1.7.2.3 Dispersión de modo de polarización

Cuando se realizaron las primeras discusiones sobre la dispersión de modo de polarización en el año 1986, sólo unos cuantos investigadores consideraron que este efecto llegaría a formar parte de las restricciones del negocio de las comunicaciones por fibra óptica. La **PMD** (Polarization Mode Dispersion), puede distorsionar la señal, hasta hacer inmanejables los bits, destruyendo la integridad de una red.

El problema principal es que el núcleo de la fibra no es perfectamente redondo, lo que origina dispersión a un grado tal que puede dejar a la señal en un estado que difícilmente pueda ser detectada.

Cuando la luz viaja en una fibra monomodo hacia el receptor, tiene dos modos de polarización que viajan en dos ejes, y se mueven formando un ángulo recto uno del otro. En una fibra ideal las dos polarizaciones se propagarían a la misma velocidad de fase pero en realidad cualquier asimetría, curvatura o torsión hace que las dos polarizaciones se propaguen a diferente velocidad, lo que provoca **PMD**.

Una fibra real exhibe diferentes tipos de imperfecciones: torsión o curvatura, impurezas en la fibra, y asimetría de la misma. Las imperfecciones son parte inherente del proceso de fabricación y son en parte causadas por las condiciones ambientales y la calidad del despliegue ó instalación de la fibra.

La simetría en la configuración es casi constante en el tiempo lo cual causa una **PMD** constante. La curvatura y tensión pueden variar en el tiempo debido a los cambios de la temperatura y aún mostrar fluctuaciones diurnas (Día/Noche) de la torsión y causar variaciones de la **PMD**.

## 1.8 COMUNICACIÓN OPTICA

La comunicación óptica es cualquier forma de comunicación que utiliza la luz como medio de transmisión. Un sistema óptico de comunicación consiste de un transmisor que codifica el mensaje dentro de una señal óptica, un canal, que transporta la señal a su destino, y un receptor, que reproduce el mensaje desde la señal óptica recibida.

Hoy en día funcionan muchas redes de fibra para comunicación a larga distancia, que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. Los sistemas de fibra óptica permiten que la señal pueda recorrer una gran distancia antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad. Los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 Km., frente a aproximadamente 2 Km. en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica pueden aumentar todavía más esta distancia

Un sistema de comunicación óptico tiene básicamente tres componentes: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. La fuente de luz se encarga de transformar las señales eléctricas en energía óptica o luminosa, y por ello es considerado como un componente activo. Cuando la señal luminosa es transmitida por la fibra, en el otro extremo del sistema se encuentra el detector óptico, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía eléctrica, similar a la señal original.

### **1.8.1 Componentes de un sistema de fibra óptica**

Los emisores de luz para comunicaciones ópticas que existen básicamente son de dos tipos que en algunas aplicaciones se podrían usar indistintamente:

Emisores de luz no coherente: los **LED**, que utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad es lenta, solo se puede usar en fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande, además de ser económicos.

Emisores de luz coherente: los láser, son un tipo de emisor que usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su uso es difícil, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los **LEDs** y también son mucho más costosos.

#### **1.8.1.1. Diodos LEDs**

Diodo emisor de luz, también conocido como **LED** (Light-Emitting Diode) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión **PN** del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia. El color,

depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo. Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de **UV LED** (UltraViolet Light-Emitting Diode) y los que emiten luz infrarroja se llaman **IREL** (Infra-Red Emitting Diode).

### 1.8.1.2 Diodos Laser

Los Diodos láser, emiten luz por el principio de emisión estimulada, la cual surge cuando un fotón induce a un electrón que se encuentra en un estado excitado a pasar al estado de reposo, este proceso está acompañado con la emisión de un fotón, con la misma frecuencia y fase del fotón estimulante.

Los tipos básicos de diodos láser son:

- **VCSEL** (Láser Emisor de Superficie de Cavidad Vertical, Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser), que emite con una longitud de onda de 850 nm exclusivamente, y puede transmitir un alto nivel de datos, se usa comúnmente con la fibra multimodo.
- **DFB** (Láser de Retroalimentación Distribuida, Distributed FeedBack Laser), que incluye una red de difracción la cual se distribuye a lo largo de todo el medio activo. La longitud de onda de la red determina la longitud de onda emitida por el láser, en una línea muy fina del espectro.
- **DBR** (Reflector de Bragg Distribuido, Distributed Bragg Reflector), en este dispositivo la red de difracción está fuera de la zona activa, en donde no circula corriente (parte pasiva de la cavidad).
- **FABRY PEROT**: en la estructura del láser Fabry-Perot, la luz es reflejada y vuelta a reflejar entre dos espejos a ambos lados de un semiconductor. El material y los dos espejos forman una cavidad que determina la longitud de onda.

### 1.8.2 Detectores (Conversores Luz-Corriente eléctrica)

Este tipo de conversores convierten las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de

onda de la señal moduladora. Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductor P-N. Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.

Hay dos tipos de detectores: los fotodiodos **PIN** y los de avalancha **APD**

### 1.8.2.1 Detectores PIN

Su nombre se debe a que se componen de una unión **P-N** y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (**I**), la cual mejora la eficacia del detector. Se utiliza principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.

Los diodos **PIN** requieren bajas tensiones para su funcionamiento, pero deben utilizar buenos amplificadores. Presentan tiempos de vida relativamente altos y son los más indicados para el uso en la primera y la segunda ventana (850 y 1510 nm).

### 1.8.2.2 Detectores APD

El mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón. Estos detectores se pueden clasificar en tres tipos:

- **De silicio:** presentan un bajo nivel de ruido y un rendimiento de hasta el 90% trabajando en la primera ventana. Requieren alta tensión de alimentación (200-300V).
- **De germanio:** aptos para trabajar con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y con un rendimiento del 70%.

- De compuestos de los grupos III y V

### 1.8.3 Acopladores

Este elemento permite la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo conectorizado de un cable de fibra óptica a otros cables. Los acopladores ópticos pueden ser construidos con un número variado de entradas/salidas. El más simple puede tener dos entradas y una salida solamente; hoy en día se pueden construir acopladores hasta de 144x144 entradas/salidas sin que esto signifique gran complejidad de fabricación

El acoplador más sencillo, **el acoplador “T”** es un dispositivo pasivo que une tres fibras (puertos). Dos entradas aisladas pueden ser combinadas en una sola salida; o al revés, una sola entrada hacia dos salidas independientes. La cantidad de pérdidas por acoplamiento, usualmente expresadas en decibelios (dB) se determina por el diseño y construcción del acoplador.

**Los acopladores en estrella**, una estructura más compleja, son también pasivos y con un número usualmente mayor de entradas y salidas; son empleados en aplicaciones diversas de las redes de telecomunicaciones. Una señal óptica introducida en un puerto de entrada se distribuye hacia todos los puertos de salida. Dada la construcción del acoplador pasivo en estrella, el número de puertos (N) es usualmente una potencia de 2.

**Los splitters** son un tipo de acoplador que se detallarán posteriormente debido a que desempeñan un rol importante en los sistemas de comunicaciones ópticas. Este dispositivo bidireccional tiene un puerto de entrada y múltiples puertos de salida. La señal óptica de entrada (downstream) es dividida entre los puertos de salida, permitiendo a múltiples usuarios el compartir una sola fibra óptica y consecuentemente el ancho de banda disponible en la misma.

### 1.8.4 Filtros

Un filtro óptico es un dispositivo capaz de seleccionar una banda de longitudes de onda y de eliminar el resto. Las principales aplicaciones en las que se utilizan los filtros son:

- Eliminación de ruido, introducido por ejemplo, por los amplificadores ópticos.
- La ecualización de la respuesta de los amplificadores ópticos.
- La selección de canales en sistemas **WDM**.

Para realizar estas funciones, los filtros deben tener unas pérdidas de inserción reducidas, su banda de paso debe ser plana para evitar la distorsión de la señal. Además la banda de transición de su respuesta debe ser abrupta para evitar la diafonía (cross-talk) de los canales próximos.

### 1.8.5 Amplificadores Ópticos

Es un dispositivo que amplifica una señal óptica directamente, sin la necesidad de convertir la señal al dominio eléctrico, amplificar en eléctrico y volver a pasar a óptico.

**Los amplificadores de fibra dopada**, como su nombre lo indica son amplificadores ópticos que usan fibra dopada, normalmente con erbio. Estos amplificadores necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente inferior a la que amplifican. Típicamente las longitudes de onda de bombeo son 980 nm o 1480 nm.

Un amplificador óptico es capaz de amplificar un conjunto de longitudes de onda.

Pueden ser de dos clases: **EDFA** y **Raman**. El amplificador de fibra dopada más común es el EDFA que se basa en el dopaje con erbio de una fibra óptica.

El **EDFA** es el amplificador de fibra dopada más empleado en la actualidad, ya que es posible amplificar señales en la tercera ventana (1550nm).

Al dopar con iones de erbio el núcleo de una fibra óptica se provoca un ensanchamiento de las bandas de transición.

**Los amplificadores Raman**, se basan en amplificar la señal óptica mediante el efecto Raman. A diferencia de los **EDFAs** y de los **SOAs** (Semiconductor Optical Amplifier, Amplificador Óptico de Semiconductor), los amplificadores Raman se basan en una

interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo de alta potencia. De esta forma, la fibra convencional ya instalada puede ser usada como medio con ganancia para la amplificación Raman.

El **SOA** tiene una estructura similar a la de un láser pero incluye antireflectante en los extremos y una guía de onda cortada en ángulo para evitar que la estructura se comporte como un láser. Suele ser de pequeño tamaño y el bombeo se implementa de forma eléctrica. Su elevada no linealidad hace atractivos a los **SOAs** para aplicaciones de procesado como la conmutación óptica o la conversión de longitud de onda. También se está estudiando su uso para implementar puertas lógicas.

### 1.8.6 Conectores

Los conectores de fibra óptica más usuales comercialmente se describen en la Tabla 1.2:

**Tabla 1.2 Diferentes tipos de Conectores de Fibra Óptica.**

CONECTOR	CARACTERISTICAS
<b>SMA</b>	Multimodo
	Sistema de ajuste: ROSCADO
	Férula: Zirconio
	Pérdidas inserción: <0.50dB(Típico 0.35dB)
<b>ST</b>	Multimodo (MM), monomodo (SM)
	Sistema de ajuste: BAYONETA
	Férula: Cerámica
	Tipo cable: <i>breakout</i> /ajustado/holgado <sub>1</sub>
<b>FC/PC FC/APC</b>	Pérdidas de inserción: <0.50dB MM
	<0.50dB SM
	Multimodo (MM), monomodo (SM)
	Sistema de ajuste: ROSCADO CON GUÍA
<b>SC/P SC/APC</b>	Férula: Cerámica
	Tipo cable: <i>breakout</i> /ajustado/holgado
	Pérdidas de inserción: <0.50dB MM
	<0.50dB SM
<b>SC/P SC/APC</b>	Multimodo (MM), monomodo (SM)
	Sistema de ajuste: PUSH-PULL
	Férula: Cerámica
<b>SC/P SC/APC</b>	Tipo cable: <i>breakout</i> /ajustado/holgado

	Pérdidas de inserción: <0.50dB MM
	<0.50dB SM
	Multimodo (MM)
<b>FDDI</b>	Sistema de ajuste: PUSH-PULL
	Férula: Cerámica
	Tipo cable: <i>breakout</i> /Zip-cord/Round
	Pérdidas de inserción: <0.50dB
	Multimodo (MM), monomodo (SM)
	Sistema de ajuste: PUSH-PULL
<b>LC</b>	Férula: Cerámica
	Tipo cable: <i>breakout</i> /ajustado/Mini Zip cord
	Pérdidas de inserción: <0.50dB MM
	<0.50dB SM
	Monomodo (SM)
<b>E2000, E2000APC</b>	Sistema de ajuste: PUSH-PULL
	Férula: Cerámica
	Tipo cable: <i>breakout</i> /ajustado/holgado
	Pérdidas de inserción: <0.50dB MM
	<0.50dB SM

## 1.9 ESQUEMAS DE MULTIPLEXACIÓN EN SISTEMAS ÓPTICOS

En los últimos años se han hecho necesarios sistemas de telecomunicaciones de alta capacidad, mayor velocidad y mayor funcionalidad. Para optimizar la transferencia de información sobre un enlace de comunicaciones por fibra óptica es usual multiplexar varias señales sobre una fibra simple. Es posible transmitir estas señales multicanales multiplexándolas en el dominio del tiempo **TDM** (Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo), de la frecuencia **FDM** (Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia), de la longitud de onda **WDM** (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda) o por división de código **CDM** (Code Division Multiplexing, Multiplexación por División de Código).

### 1.9.1 Multiplexación TDM

**TDM** es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión

### 1.9.2 Multiplexación FDM

Es una técnica de multiplexación usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicos, principalmente de radiofrecuencia, y entre ellos en los teléfonos móviles de redes **GSM** (Groupe Special Mobile, Sistema Global para las Comunicaciones Móviles).

En **FDMA** (Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia), el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí. Los usuarios pueden compartir el acceso a estos distintos canales por diferentes métodos como **TDMA** (Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo), **CDMA** (Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código) o **SDMA** (Space Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Espacio), siendo estos protocolos usados indistintamente en los diferentes niveles del modelo **OSI** (Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos).

En algunos sistemas, como **GSM**, el **FDMA** se complementa con un mecanismo de cambio de canal según las necesidades de la red lo precisen, conocido en inglés como frequency hopping o "saltos en frecuencia".

Su primera aparición en la telefonía móvil fue en los equipos de telecomunicación de **Primera Generación** (años 1980), siendo de baja calidad de transmisión y una pésima seguridad. La velocidad máxima de transferencia de datos fue 240 baudios.

### 1.9.3 MULTIPLEXACIÓN CDM

La multiplexación **TDM** tiene la ventaja de permitir el fácil enrutamiento de los datos; pero el problema es que cada usuario tiene preasignados de forma estática unos intervalos de tiempo en los que puede hacer uso de la red. Esto supone un uso ineficaz del ancho de banda. Este inconveniente puede solventarse empleando técnicas de multiplexación que permitan a los usuarios acceder a cualquier canal de forma aleatoria en cualquier instante de tiempo. **CDM** cumple este requisito y permite a los usuarios utilizar todo el espectro disponible en cualquier instante.

### 1.9.4 MULTIPLEXACIÓN WDM

**WDM** es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda usando luz procedente de láseres operando a distintas longitudes de onda.

Hay básicamente dos tipos de tecnologías **WDM**: si se pretende introducir muchas longitudes de onda en una fibra (hasta 320 por ejemplo), se debe utilizar la tecnología **DWDM** (Dense wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas), que es la principal en entornos de red troncal de larga distancia.

En entornos metropolitanos es común encontrar soluciones más baratas (por tener menores tolerancias) con menos longitudes de onda como **CWDM** (Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexado por División Aproximada de Longitud de Onda), que tiene hasta 8 longitudes de onda.

### 1.10 ARQUITECTURAS DE ACCESO EN REDES DE FIBRA.

Considerando las limitaciones tecnológicas del bucle de abonado para ofrecer líneas digitales de alta velocidad, se analizan soluciones de acceso por fibra óptica por su enorme ancho de banda y las posibilidades de extender dichas redes de acceso más allá de los estándares mediante técnicas de amplificación óptica.

### 1.10.1 Solución FTTx

**FTTx** (Fibre To The x, Fibra Hasta La x) es una expresión genérica para asignar arquitecturas de redes de transmisión de alto desempeño basadas en tecnología óptica. Son redes totalmente pasivas, también asignadas por **PON**. De una manera generalizada, en la **CO** (Central Office, Sala de Equipos) la señal es transmitida por una red óptica donde en una región próxima a los suscriptores, la señal se divide y es transmitida a las **ONTs** (Optical Network Terminal, Terminal óptico de red) localizada en los respectivos abonados.

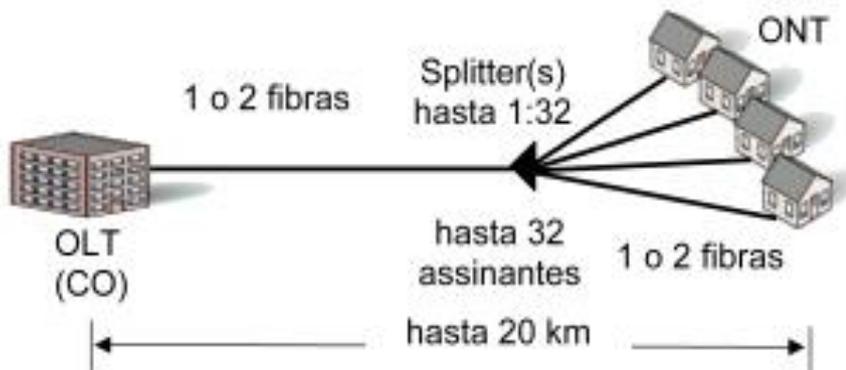


Figura 1.8 Solución FTTx

### 1.10.2 Solución FTTB

**FTTB** (Fiber To The Building, Fibra Hasta El Edificio) es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada termina en la entrada de un edificio (comercial o residencial). A partir de este punto terminal, el acceso interno a los usuarios es normalmente hecho a través de una red metálica de cableado estructurado.

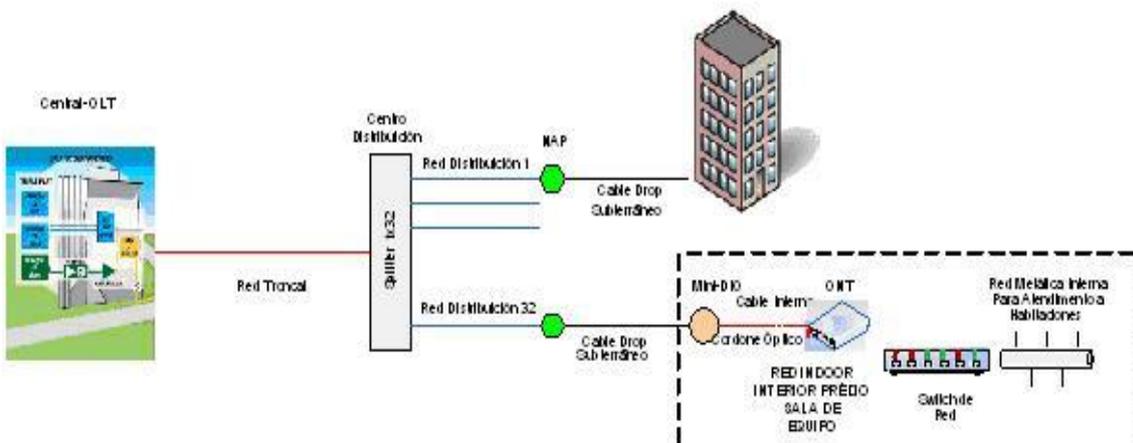


Figura 1.9 Solución FTTB

### 1.10.3 Solución FTTH :

FTTH (Fiber To The Home, Fibra Hasta El Hogar), es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada entra en la residencia del abonado y es suministrado por una fibra óptica exclusiva para este acceso. Normalmente entre la red de bajada y la red interna del abonado, es utilizado un mini-DIO (Distribuidor Interno Óptico) o un bloqueo óptico FOB (FISA Optic Block) para realizar la transición de la señal óptica al interior de la residencia. Después de esta transición, la señal es debidamente suministrada a través de una extensión o cordón óptico para el receptor óptico del abonado.

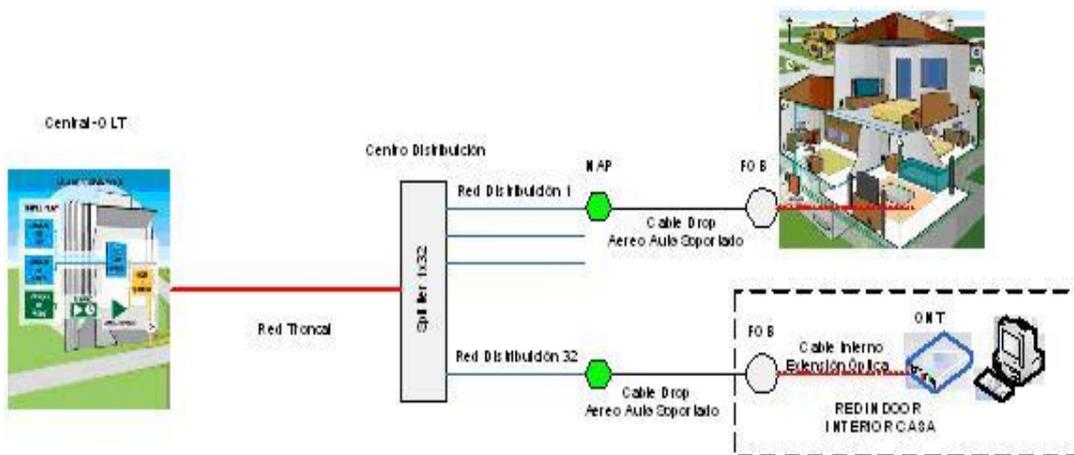
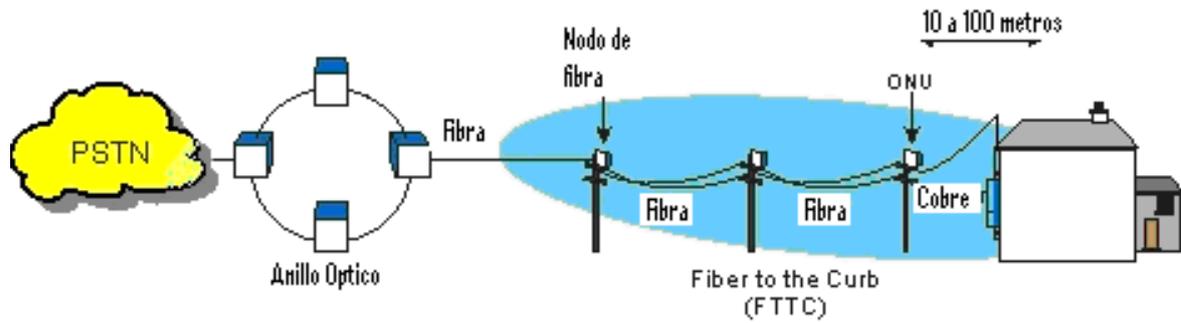


Figura 1.10 Solución FTTH

### 1.10.4 Solución FTTC

FTTC (Fiber To The Curb, Fibra Hasta La Acera), consiste en interconectar los edificios a través de fibra óptica. El usuario se conecta con la unidad óptica situada en el centro de distribución del edificio (Optical Network Units) con cable coaxial o par trenzado. Al ser el sistema FTTC un sistema en banda base, el mecanismo de multiplexado para repartir la información a los usuarios se realiza con técnicas TDM.

El multiplexado de la unidad óptica puede realizarse mediante un conmutador ATM que maneja anchos de banda del bucle de abonado cercanos a los 50 Mbps sobre cable coaxial o par trenzado.

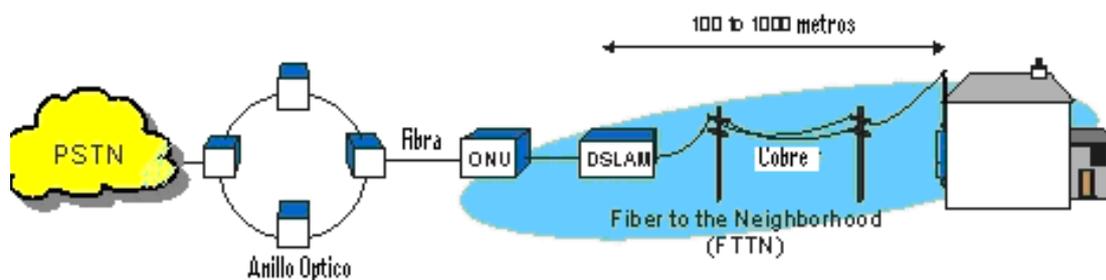


**Figura 1.11 Solución FTTC**

### 1.10.5 Solución FTTN:

**FTTN** (Fiber To The Node, Fibra Hasta El Nodo), el recorrido de fibra óptica va desde las instalaciones del operador hasta un punto alejado del abonado. La ruta de acceso entre el punto intermedio y el abonado no es la fibra óptica, sino otro medio de transmisión, como el cobre.

Incluye aquellos casos en los que la trayectoria de la fibra óptica termina en el denominado punto de distribución “intermedio” en la red de acceso local, que sirve a un conjunto de viviendas/edificios.



**Figura 1.12 Solución FTTN**

## 1.11 REDES PON

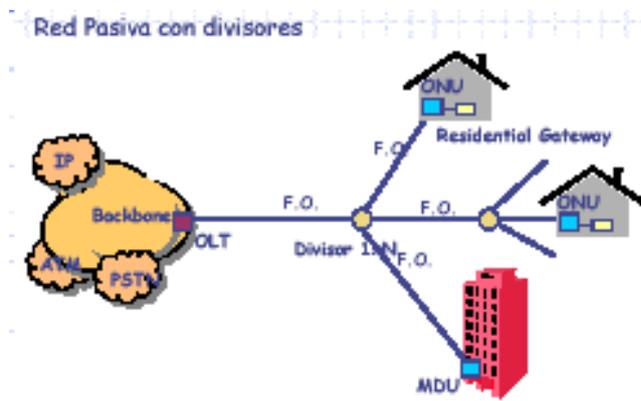
Las redes ópticas se encargan de descomprimir y destrabar los cuellos de botella producidos en las redes de acceso y que supone en la actualidad el bucle local, ofreciendo un ancho de banda flexible capaz de soportar los nuevos servicios de

telecomunicaciones aumentando la calidad de los mismos y prometen a los usuarios un enorme incremento en el ancho de banda de la red de acceso hasta cientos de Gbps.

Evidentemente, las principales características que se buscan en estos equipos son su bajo costo, la facilidad de gestión y la facilidad de configuración y mantenimiento remoto.

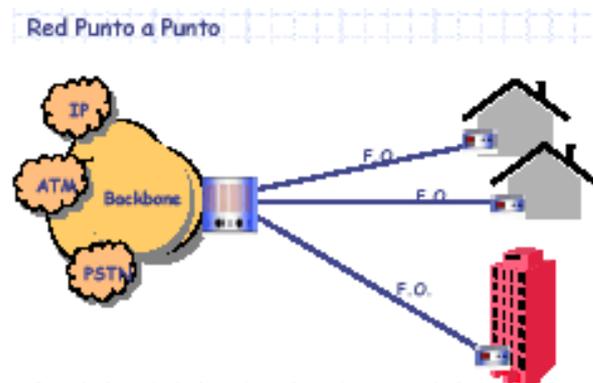
Existen varias arquitecturas posibles de uso de la fibra. La categoría de Acceso Óptico engloba los sistemas donde se llega al usuario final con fibra. Pueden clasificarse de dos formas:

1) Por el uso de elementos pasivos y/o activos: Redes **PON**



**Figura 1.13 Redes PON**

2) Por la cercanía del tramo de fibra al domicilio de cliente: **FTTX**



**Figura 1.14 Redes FTTX**

Una red de transmisión basada en la arquitectura **PON** está compuesta generalmente de la siguiente manera:

- **Sala de Equipos/Cabecera:** local donde están instalados tanto el equipo de transmisión óptica **OLT** (Optical Line Terminal, Unidad Óptica Terminal de Línea), como el distribuidor óptico general que es el responsable por la transición entre el equipo de transmisión y los cables ópticos troncales de transmisión.
- **Red Óptica Troncal/Feeder:** Compuesta básicamente por cables ópticos que llevan la señal de la Sala de Equipos hasta los centros de distribución. Estos cables ópticos son indicados prioritariamente para instalación subterránea en el interior de líneas de conductos o subductos y en instalaciones aéreas. Para redes **PON**, las fibras ópticas utilizadas son del tipo monomodo.
- **Centros de distribución:** Para optimizar el aprovechamiento de fibras ópticas, las redes **PON** normalmente se presentan en topología Estrella-Distribuida. En esta configuración, los centros de distribución hacen la división de la señal óptica en áreas más distantes de la central, disminuyendo el número de fibras ópticas para atender a estos accesos. En este local son instalados pequeños armarios ópticos de distribución asociados a divisores ópticos. De forma alternada, estos armarios pueden ser cambiados por cajas de empalme asociados a divisores ópticos para uso específico en cajas de empalme.
- **Red Óptica de Distribución:** Compuesta por cables ópticos, que llevan la señal de los centros de distribución a las áreas específicas de atención. Estos cables normalmente son autoportados con núcleo seco para facilitar la instalación. Asociados a estos cables, son utilizadas cajas de empalme para derivación de las fibras para una distribución mejorada de la señal. Las cajas de empalme también denominadas **NAP** (Network Access Point, Punto de Acceso a la Red), son puestas para la distribución de la señal realizando la transición de la red óptica de alimentación a la red terminal, también conocida como red de bajada.
- **Red Óptica de Acometida:** Compuesta por cables ópticos autoportados de baja cantidad de fibras. A partir de la caja de empalme terminal, llevan la señal óptica hasta el abonado. El elemento de sustentación normalmente es utilizado para sujetar el cable de la casa / edificio del abonado.

- **Red interna:** A partir del distribuidor interno óptico, son utilizadas extensiones o cordones ópticos para realizar la transición de la señal óptica de la fibra al receptor interno del abonado.

### 1.11.1 Ventajas de las redes ópticas pasivas

Las ventajas que presentan las redes **PON** son las siguientes:

- Aumento de la cobertura hasta los 20 Km. (desde la central). Con tecnologías **DSL** (Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado) como máximo se cubre hasta los 5.5 Km.
- Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario en el orden de 1 Gbps.
- Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan al ruido e interferencia.
- Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.
- Más baratas que las soluciones punto a punto.

### 1.11.2 Estructura y funcionamiento de una red PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por:

- Un módulo **OLT** que se encuentra en el nodo central.
- Un divisor óptico (splitter).
- Varias **ONTs** que están ubicadas en el domicilio del usuario. La transmisión se realiza entre la **OLT** y la **ONU** (Optical Network Unit - Unidad Óptica de Usuario) que se comunican a través del divisor, su función depende de si el canal es ascendente o descendente.

#### 1.11.2.1 Canal descendente o downstream

En canal descendente, una red **PON** es una red punto-multipunto, donde la **OLT** envía una serie de contenidos hacia el divisor, éste se encarga de repartir estos contenidos a todas las unidades **ONU**. La función del divisor es filtrar y sólo enviar al usuario

aquellos contenidos que vayan dirigidos a él. En este procedimiento se utiliza **TDM** para enviar la información en diferentes instantes.

### **1.11.2.2 Canal ascendente o upstream**

En canal ascendente una **PON** es una red punto a punto, donde las diferentes **ONUs** transmiten contenidos a la **OLT**. Por este motivo también es necesario el uso de **TDM** para que cada **ONU** envíe la información en diferentes instantes, controlados por la unidad **OLT**.

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se usan dos longitudes de onda diferentes utilizando técnicas **WDM**. Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas después. Finalmente, las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central, de tal manera que, un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo receptor, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia mayor.

### **1.11.3 Tipos de redes PON**

Realizando un seguimiento cronológico se pueden encontrar los siguientes estándares para redes **PON** basados en las recomendaciones **ITU-T G.983**, **ITU-T G.984** e **IEEE 802.3ah**.

#### **1.11.3.1 APON**

Especificada en la recomendación **ITU-T G.983**, fue la primera red que definió la **FSAN**, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

**APON** (Asynchronous Transfer Mode over Passive Optical Network) basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas **ATM**, inicialmente con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre el número de **ONUs** que estén conectadas. En canal ascendente, en el flujo de celdas **ATM**, se introducen dos celdas **PLOAM**

(Physical Level Operations, Administration, and Maintenance, Niveles de Operación Físicos, de Administración y de 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 posteriormente se aumentó hasta los 622 Mbps.

- **OLT**: entrega datos usando **TDM** en 1550 nm downstream a 155 o 622 Mbps.
- **ONU**: cercano al equipo de abonado que entrega datos a 1310nm upstream a 155 Mbps. Convierten los pulsos de luz al formato deseado, **ATM**, Ethernet, etc.

### 1.11.3.2 **BPON**

**BPON** (Broadband **PON** - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha), se basa en el estándar **APON** y ha sido ratificada en la recomendación **ITU-T G.983**, con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha y ofrece servicios como acceso Ethernet o distribución de video. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir:

- Tráfico asimétrico: Canal descendente de 622 Mbps / Canal ascendente de 155 Mbps.
- Tráfico simétrico: Canal descendente y ascendente de 622 Mbps. No obstante presentaban un costo elevado y limitaciones técnicas.

En el capítulo 2 se realiza una introducción a las redes **GPON**, presentando sus características técnicas, funcionamiento, arquitectura y estructura de tales redes, los equipos y estándares aplicados para la aplicación de esta tecnología.

## **CAPITULO 2 INTRODUCCION A LA RED G-PON**

Las **NGN** (Next Generation Network, Redes de Nueva Generación), que permitirán ofrecer anchos de banda de hasta 100 Mbps por abonado a través de fibra óptica, revolucionarán los servicios de comunicación y ocio a través de las redes actuales de telecomunicación. Las “Carreteras de la Información” pasarán a ser las añoradas “Autopistas de la Información”. El cobre, deja paso a la fibra óptica, un medio mucho más eficaz para el transporte de información.

Aunque muchos han oído hablar de estas redes que ya están siendo desplegadas por diversos operadores de todo el mundo, pocos conocen qué tecnología está detrás de ellos. El **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonado Digital Asimétrica) es la tecnología que permite ofrecer banda ancha a través del par telefónico de cobre tradicional, se ha popularizado y muchos usuarios saben sus bases tecnológicas. Sin embargo, nadie sabe exactamente qué tecnología está detrás del acceso de banda ancha a través de la fibra óptica. Pues bien, a pesar de que hay varias tecnologías competidoras, **GPON** es el estándar más atractivo para ofrecer fibra óptica hasta el hogar o hasta el edificio.

### **2.1 TRANSMISIONES Y SERVICIOS G-PON.**

**GPON** ofrece una capacidad de 2,5 Gbps descendente y 1,25 Gbps ascendente compartidos por cada 64 abonados sobre distancias de hasta 20 km. El **OLT** es el equipo de central y la **ONT** el equipo de abonado. En la **ONT**, instalada en el interior del hogar generalmente, se conectan los ordenadores, teléfonos, routers, set-top-boxes, etc. Si se desea realizar una transición gradual por parte de la operadora antes de llevar fibra hasta el hogar, **GPON** sigue siendo la solución tecnológica ideal.

**GPON** es una tecnología que permite una convergencia total de todos los servicios de telecomunicaciones sobre una única infraestructura de red basada en **IP**. Esto permite una notable reducción de costos en los operadores, que no tienen que instalar y mantener redes paralelas para cada servicio, lo cual podrá ser trasladado a medio plazo en tarifas más baratas a los abonados por servicios mucho más potentes (voz sobre **IP**,

televisión digital de alta definición, vídeo bajo demanda, Internet de banda ancha sin restricciones de distancias y velocidad, juegos en red, etc.).

## 2.2 QUE ES G-PON

Es una red de fibra totalmente pasiva, sin repetidores dentro de la red o fuentes de poder intermedios, solo splitters, acopladores y atenuadores. Toda la información es transmitida bidireccionalmente sobre una sola fibra conocida como **PON**. Se utilizan dos longitudes de onda distintas, una para la información de bajada (Ej. 1490 nm) y una para la información de subida (Ej. 1510 nm). La información descendente (**downstream**) es transmitida en modo broadcast, es decir que la información le llega a todos los elementos de la red. Como la información le llega a todos los usuarios es necesario utilizar un sistema de encriptamiento para mantener la privacidad de las comunicaciones.

Para la información ascendente (**upstream**) la transmisión es realizada utilizando un protocolo de acceso múltiple conocido como **TDMA**, en donde cada elemento de la red tiene un periodo de tiempo específico para transmitir, permitiendo que un mismo canal de transmisión, en este caso la misma longitud de onda, sea compartido por varios usuarios. Una red de fibra que ofrece una alternativa de mayor ancho de banda frente a las soluciones actuales de **DSL** y cable.

Las redes **GPON** tienen la estructura básica de una red **PON**, es decir, elementos activos en los extremos de la red y elementos pasivos que transmiten y reparten la señal desde la central hasta cada una de las casas de los abonados.

## 2.3 FUNCIONAMIENTO, ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA DE UNA RED G-PON

A continuación se presentarán datos característicos acerca del funcionamiento, la arquitectura y la estructura de una red **GPON**:

### 2.3.1 Funcionamiento de una red G-PON

La red **GPON** consta de un **OLT**, ubicado en las dependencias del operador, y las **ONT** en las dependencias de los abonados para **FTTH**. La **OLT** consta de varios puertos de línea **GPON**, cada uno soportando hasta 64 **ONT**. Aunque depende del suministrador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 **ONTs** en el mismo espacio que un **DSLAM** (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, Multiplexor de Acceso a la Línea Digital de Abonado). En las arquitecturas **FTTN** las **ONT** son sustituidas por **MDU** (Multi-Dwelling Units, Unidades Múltiples de Vivienda), que ofrecen habitualmente **VDSL2** (Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2, Línea Digital de Abonado de Muy Alta Tasa de Transferencia 2) hasta las casas de los abonados, reutilizando así el par de cobre instalado pero, a su vez, consiguiendo las cortas distancias necesarias para conseguir velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado

Para conectar la **OLT** con la **ONT** con datos, se emplea un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda descendente. Mediante un pequeño divisor pasivo que divide la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas, el tráfico descendente originado en la **OLT** puede ser distribuido. Puede haber una serie de divisores pasivos  $1 \times n$  (donde  $n = 2, 4, 8, 16, 32, \text{ o } 64$ ) en distintos emplazamientos hasta alcanzar los clientes. Esto es una arquitectura punto a multipunto, algunas veces descrita como una topología en árbol.

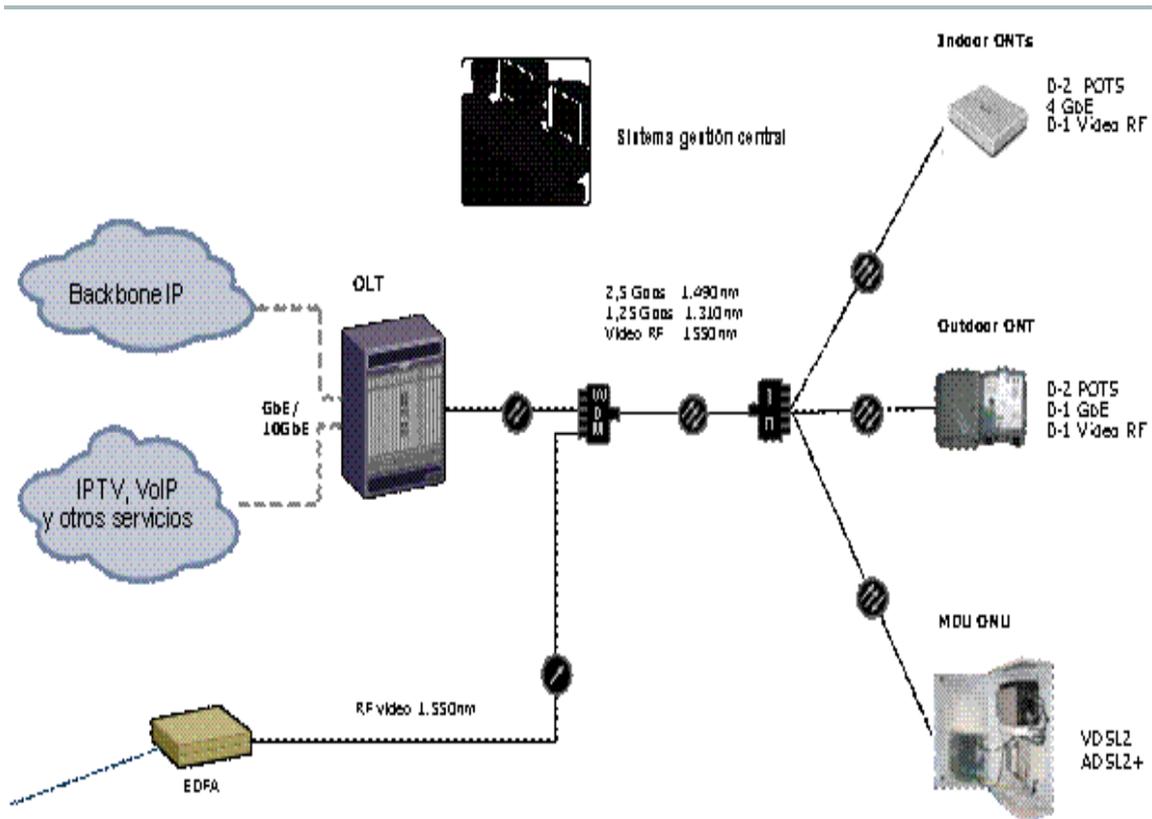
Los datos ascendentes desde la **ONT** hasta la **OLT** (que son distribuidos en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión descendente) es agregado por la misma unidad divisora pasiva, que hace las funciones de mezclador en la otra dirección del tráfico. Esto permite que el tráfico sea recolectado desde la **OLT** sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico descendente.

Para el tráfico descendente se realiza un **broadcast** óptico, aunque cada **ONT** sólo será capaz de procesar el tráfico que le corresponde o para el que tiene acceso por parte del operador, gracias a las técnicas de seguridad **AES** (Advanced Encryption Standard, Estándar Avanzado de Encriptación). Para el tráfico ascendente los protocolos basados en **TDMA** aseguran la transmisión sin colisiones desde la **ONT** hasta la **OLT**. Además,

mediante **TDMA** sólo se transmite cuando sea necesario, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías **TDM** donde el período temporal para transmitir es fijo e independiente de que se tengan datos o no disponibles.

### 2.3.2 Arquitectura de una red G-PON

La Figura 2.1 presenta un ejemplo de la arquitectura de una red **GPON**:



**Figura 2.1** Arquitectura de red de GPON.

Una de las características clave de **PON** es la capacidad de sobresuscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten y la red esté con capacidad ociosa, es decir, cuando no haya otros abonados en la misma red **PON** que estén empleando todo su ancho de banda disponible. Esta funcionalidad es denominada **DBA** o (Dynamic Bandwidth Allocation, Ubicación Dinámica del Ancho de Banda) de la red **PON** punto a multipunto.

En una red **GPON**, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, **VoIP**, **IPTV**, etc.) descendente (1.490 nm) y otra para el tráfico ascendente (1.310 nm). Además, a través del uso de **WDM**, se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de vídeo **RF** (broadcast analógico, broadcast digital, **HDTV**, y vídeo bajo demanda).

De este modo, el vídeo/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: **RF** e **IPTV**. Mediante **RF** las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia **IPTV**. En este caso, las **ONT** dispondrán de una salida para vídeo **RF** coaxial que irá conectada al **STB** (Set-top Box) tradicional. Con **IPTV** la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos **IP** se transmite sobre el mismo enlace **IP** como datos para acceso a Internet de banda ancha. El **STB** conectado mediante Gigabit Ethernet al **ONT**, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de vídeo. Mediante **IPTV** y **GPON**, cuyos equipos incorporan capacidades de **QoS** (Quality of Service, Calidad de Servicio) y multicast **IP** avanzadas, los operadores puede ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos **HDTV**, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con vídeo **RF**.

### 2.3.3 Estructura de una red GPON

Una red **GPON** está formada básicamente por:

- Un módulo **OLT** que se encuentra en el nodo central.
- Uno o varios divisores ópticos (splitter) que sirven para ramificar la red de fibra óptica.
- Tantas **ONUs** como viviendas.

La transmisión se realiza entre la **OLT** y la **ONU**.

En definitiva, **PON** trabaja compartiendo la capacidad entre las **ONU** de los usuarios, para lo que necesita utilizar dos frecuencias, una para el canal ascendente y otra para el descendente.

## 2.4 EQUIPOS ÓPTICOS Y PASIVOS DE REDES G-PON

La evolución de **GPON** en el futuro cercano es poder atender 128 servicios con cada fibra óptica, asegurando un ancho de banda para cada cliente igual al que actualmente se alcanza con 64 abonados por fibra. A continuación la descripción de equipos a utilizarse en una red **GPON**:

**OLT**: es uno de los componentes clave utilizados en las redes **GPON**, la terminal de línea óptica generalmente se coloca en la sala de control central. La típica terminal de línea óptica adopta el tamaño de 19 pulgadas de diseño de rack, es con 3U de altura y 16 ranuras, cada 2 de ellos se ofrece a un módulo de la **OLT**, apoyando 8 **OLT** como máximo por módulo y 256 equipos de **ONU** a distancia. Este sistema lo convierten en un gran ancho de banda estable, la transmisión de datos de más de 10 a 20 kilómetros de distancia. Es capaz de transmitir la función de suministro a velocidad de cable **L2/L3**. Cada línea **PON** soporta 1Gbps ascendente y descendente de ancho de banda simétrico.

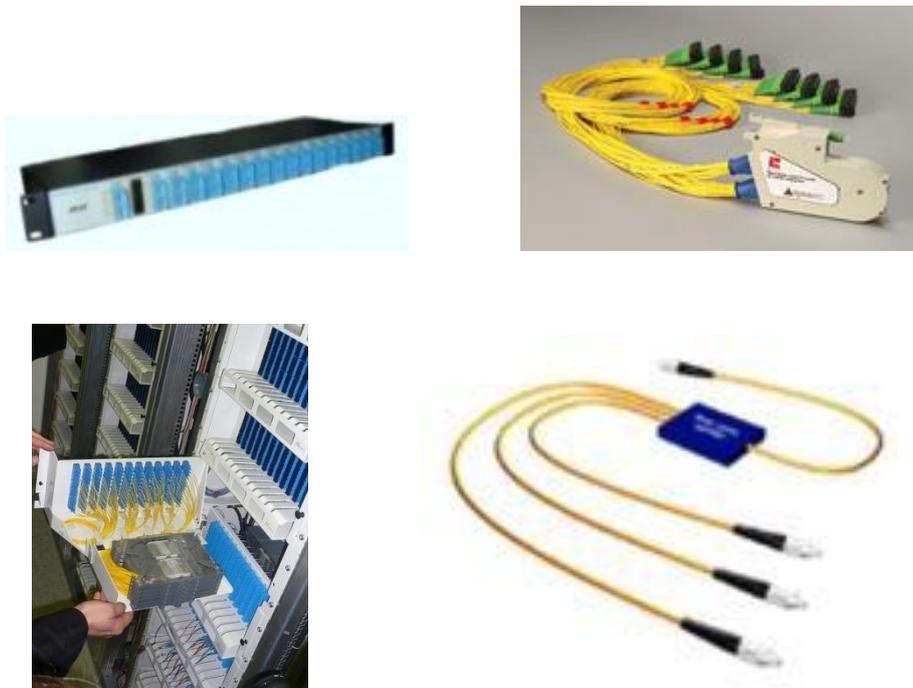
También contiene abundantes características de operación manejables, como la dirección **MAC** (Media Access Control, Control de Acceso al Medio) limitada y la dirección **IP** limitada, control de ancho de banda, **VLAN (Virtual LAN)** y control de flujo. El terminal de línea óptica también cuenta con la función de gestión de red.

En la Figura 2.2 se muestran los elementos que forman una arquitectura **GPON**:



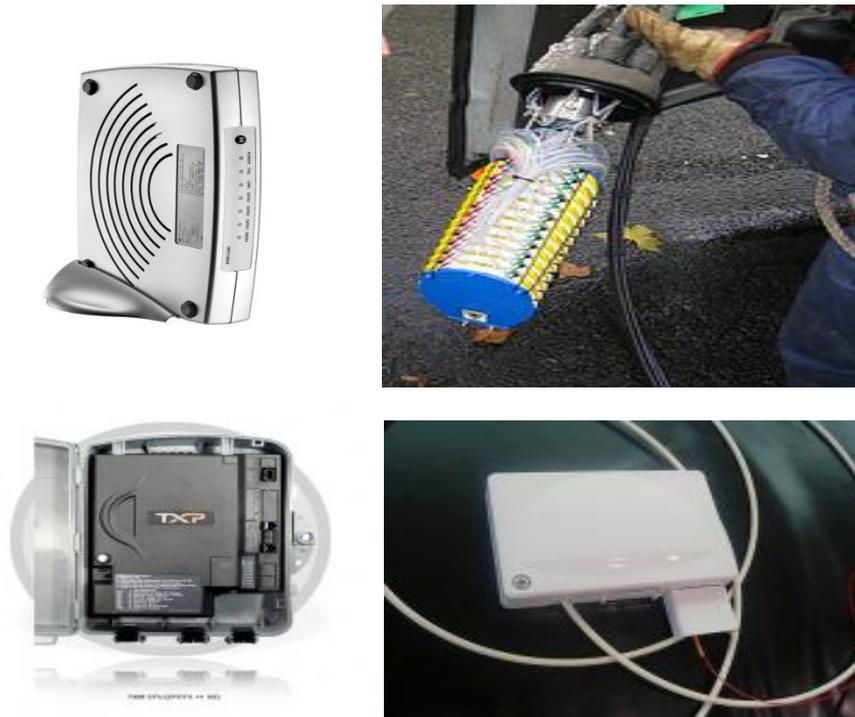
**Figura 2.2 OLTs.**

**Splitters ópticos:** también conocidos como divisores ópticos dividen la señal enviada por el **OLT** hacia los equipos **ONUs** u **ONTs**, esta división es realizada pasivamente es decir sin necesidad de corriente o amplificación alguna. Son de vital importancia para las redes **GPON**. La Figura 2.3 muestra los splitters ópticos



**Figura 2.3 Splitters ópticos**

**ONT:** es el equipo que se instala en las premisas del cliente. La tarea principal de este dispositivo es realizar la interfase entre la red óptica y los equipos del cliente. El **ONT** puede tener puertos ethernet para servicios de datos, puertos E1s o **POTS** (Plain Old Telephone Service, Servicio Telefónico Ordinario Antiguo) para servicios de voz y puertos **RF** análogos para servicios de video.



**Figura 2.4** ONT Unidad Óptica de Usuarios

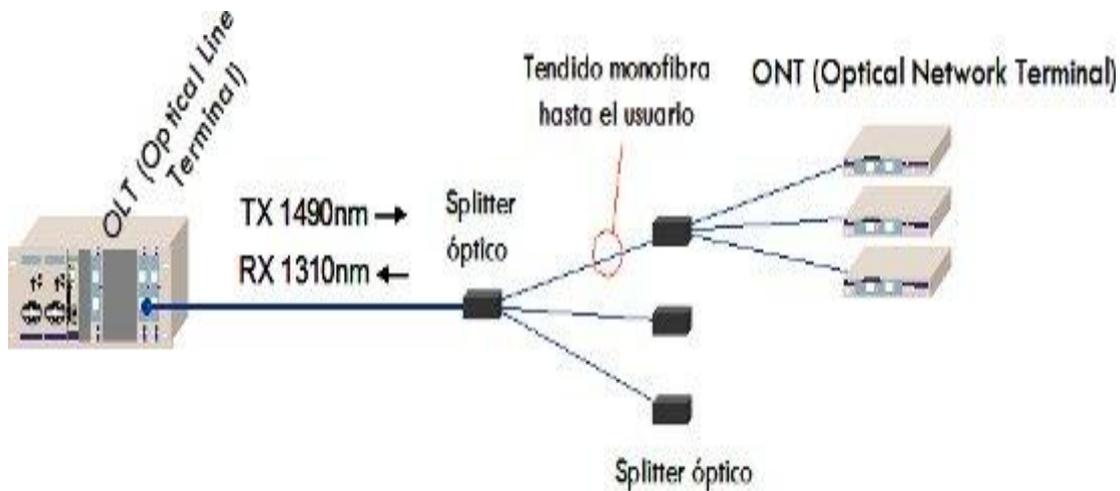
## **2.5 CARACTERISTICAS TECNICAS Y CAPACIDADES DE GPON.**

Las redes ópticas pasivas no tienen componentes activos entre el servidor y el cliente o abonado. En su lugar se encuentran los divisores ópticos pasivos o splitters. La utilización de sistemas pasivos reduce considerablemente las inversiones y los costos de conservación.

La arquitectura de **GPON** es conceptualmente similar a la de una recomendación anterior (**BPON**). Se han mejorado aspectos referidos a la gestión de servicios y a la seguridad pero, sobre todo, **GPON** ofrece tasas de transferencia de hasta 1,25 Gbps en caudales simétricos o de hasta 2,5 Gbps para el canal descendente en caudales asimétricos.

Las redes **GPON**, según su definición en el standard **ITU-T G.984**, tienen un alcance de 20Km y un número de usuarios de 64. Sin embargo, el estándar está preparado para prolongar las redes **GPON** hasta un máximo de 60 Km y aumentar el número de usuarios hasta 128. Sin embargo, la principal limitación en el despliegue de las redes

GPON está en su propia arquitectura de red punto-multipunto. La Figura 2.5 presenta un modelo **GPON** básico.



**Figura 2.5 Modelo de red GPON básica.**

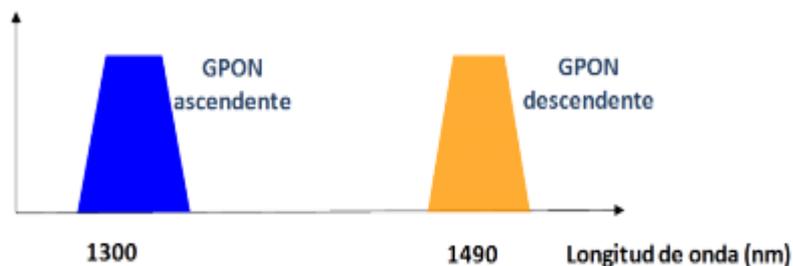
### 2.5.1 La división de la señal de la central a los usuarios

Se la realiza a través de splitters ópticos pasivos que dividen la señal entrante de entre 64 fibras diferentes. Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando técnicas **WDM**. Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas.

Finalmente, las redes ópticas pasivas han de estar ajustadas en función de la distancia entre el usuario y la central, el número de splitters y su atenuación; de tal manera, que para que el nivel luminoso que reciba cada **ONU** esté dentro de los márgenes, o bien se ajusta el nivel del láser o la atenuación de los splitters.

### 2.5.2 Canales en G-PON

La Figura 2.6 muestra la división de los canales ascendentes y descendentes:



**Figura 2.6 Canales ascendentes y descendentes**

**Canal descendente:** En canal descendente, una red **PON** va desde el **OLT** hacia el **ONU** del usuario, en forma de red punto-multipunto donde la **OLT** envía una serie de contenidos que pasan por los divisores y llegan a las unidades **ONU**, cuyo objetivo es el de filtrar los contenidos y enviar al usuario sólo aquellos que vayan dirigidos a él. Se utiliza **TDM** para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

**Canal ascendente:** En canal ascendente una **PON** es una red punto a punto donde las diferentes **ONUs** transmiten contenidos a la **OLT**. Por este motivo también es necesario el uso de **TDMA** para que cada **ONU** envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad **OLT**. Al mismo tiempo, todas las **ONU** se sincronizan a través de un proceso conocido como "Ranging".

### 2.5.3 Normas técnicas y alcance de G-PON

**GPON** ofrece una estructura de trama escalable de 622 Mbps hasta 2,5 Gbps, así como soporte de tasas de bit asimétricas. La velocidad más utilizada por los actuales suministradores de equipos **GPON** es de 2,488 Gbps descendente y de 1,244 Gbps ascendente. Sobre ciertas configuraciones se pueden proporcionar hasta 100 Mbps por abonado.

La red de acceso es la parte de la red del operador más cercana al usuario final, por lo que se caracteriza por la abundancia de protocolos y servicios. El método de encapsulación que emplea **GPON** es **GEM** (**GPON** Encapsulation Method, Método de Encapsulación **GPON**) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, **TDM**, ATM, etc.) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de

125 us. **GEM** se basa en el estándar **GFP** (Generic Framing Procedure, Procedimiento Genérico de Encapsulado) del **ITU-T G.7041**, con modificaciones menores para optimizarla para las tecnologías **PON**. **GPON** de este modo, no sólo ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías predecesoras, es además mucho más eficiente y permite a los operadores continuar ofreciendo sus servicios tradicionales (voz basada en **TDM**, líneas alquiladas, etc.) sin tener que cambiar los equipos instalados en las dependencias de sus clientes.

Además, **GPON** implementa capacidades de **OAM** (Operation, Administration and Maintenance, Operación, Administración y Mantenimiento) avanzadas, ofreciendo una potente gestión del servicio extremo a extremo. Entre otras funcionalidades incorporadas cabe destacar: monitorización de la tasa de error, alarmas y eventos, descubrimiento y ranging automático, etc.

## **2.6 FORMAS DE EXTENDER REDES G-PON**

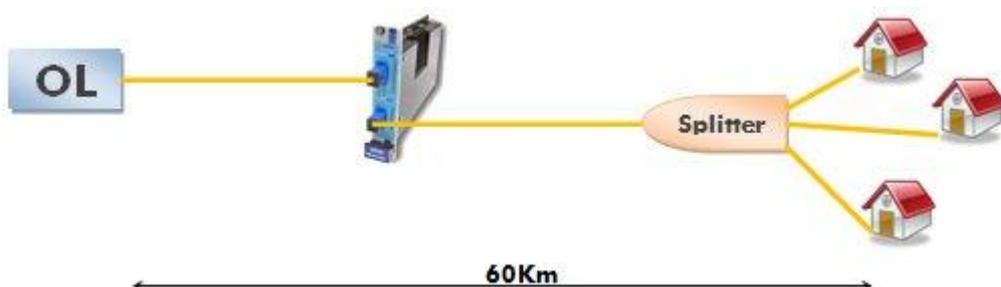
**GPON-Extender** se lo puede utilizar como splitter, es un repetidor opto electrónico que permite, mediante muestreo, regenerar la señal **GPON** y volver a emitirla de nuevo con la potencia original. Esto puede hacerse gracias a que, a diferencia de los splitters ópticos, es un elemento activo, y puede regenerar, amplificar y emitir la señal que recibe atenuada en una red **GPON**.

Esto puede utilizarse para eliminar las restricciones a las que nos limita el budget óptico tanto en distancia como en número de usuarios de una red:

### **2.6.1 Extendiendo una red G-PON de 20 Km A 60 Km**

Hay ocasiones en las que se quiere dar cobertura a una zona residencial o una zona rural que está ubicada a más de 20 kilómetros de la central más cercana donde se puede colocar una **OLT**. Mediante la regeneración de la señal **GPON**, podemos extender la longitud de una red **GPON** para llegar a estos puntos, llegando a una distancia de hasta 60 Km eliminando la atenuación debida a distancia.

Estos 60 Km son la distancia lógica máxima que puede haber en una red **GPON** entre la **OLT** y la **ONT** más lejana, y puede ser conseguida mediante la concatenación de varios **GPON-Extender**, ya que cada uno de los equipos permite extender la red aproximadamente unos 20Km, dependiendo siempre de las características particulares de cada enlace. La Figura 2.7 presenta el uso del GPON-Extender:



**Figura 2.7** Uso del GPON-Extender

En este modelo de despliegue, se amplía la distancia a la que se encuentran los hogares de los usuarios hasta 60 Km de la central, lo que permite abaratar tanto el **CAPEX** (Gastos de Capital) como el **OPEX** (Gastos de Operación), al eliminar una, de otro modo necesaria, **OLT** más cercana a la zona de despliegue.

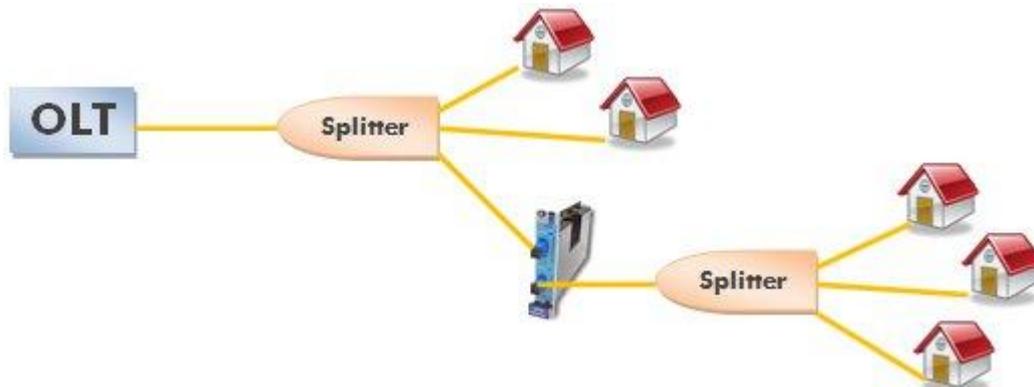
Si fuese necesario, se podrían encadenar varios equipos **GPON-Extender** para conseguir la distancia deseada y la potencia de señal adecuada para el número de usuarios y nivel de splitting posterior.

### **2.6.2 Ampliando el número de usuarios de una red G-PON de 64 a 128**

En el siguiente caso de estudio, se supone una red **G-PON** en la que queremos dar servicio a 128 usuarios. Esto implicaría que después de pasar por los splitters pasivos, la señal tendría una potencia de 1/128 veces la potencia emitida por la **OLT**, sin contar con la atenuación añadida por la distancia y por las conexiones.

En este escenario, se puede colocar un regenerador **GPON-Extender** después del primer nivel de splitting en una o varias de las ramas de la red, regenerando y amplificando la señal totalmente y permitiendo de esta forma que éstas puedan a su vez

volver a dividirse en otras ramas, cada una en un nuevo nivel de división óptica y llegando de esta manera hasta los 128 usuarios para los que está preparado el estándar. La Figura 2.8 permite observar el uso del **GPON-Extender** para distancias largas.

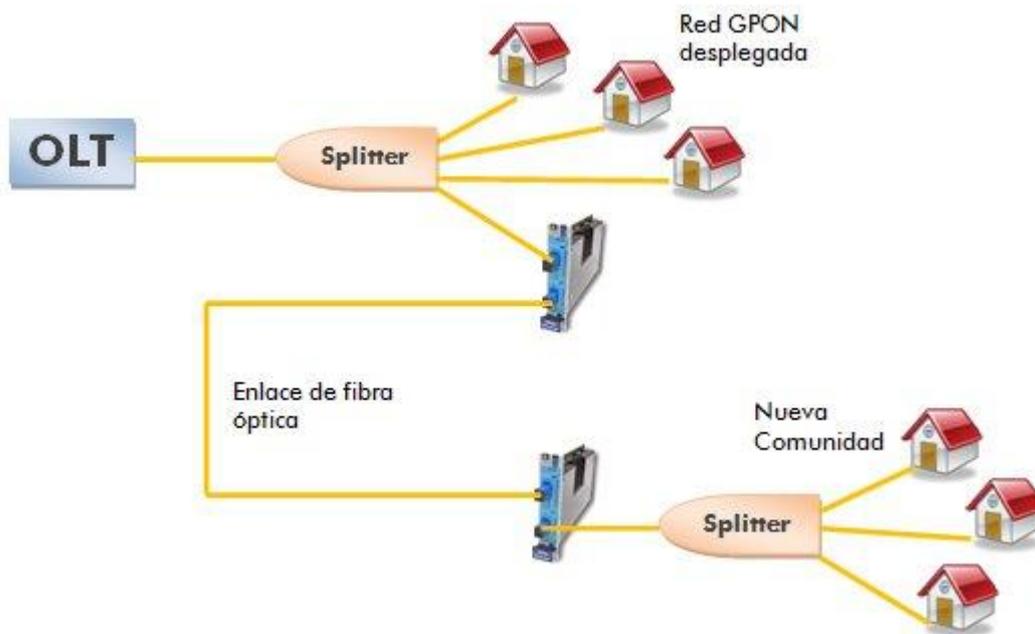


**Figura 2.8** Uso del GPON-Extender en distancias largas

De esta manera se consigue maximizar la inversión utilizando al máximo la red al dar cobertura y servicio al número máximo de usuarios que puede soportar el protocolo **ITU-T G.984**, dado que de otra forma, el número de usuarios a los que se puede dar servicio estaría limitado por el budget óptico, teniendo que buscar otras soluciones para dar de alta nuevos posibles usuarios en el área de la red **GPON**.

### 2.6.3 Extendiendo las ramas de una G-PON

Hay ocasiones en las que se quiera dar cobertura a una nueva zona residencial cercana a una en la que ya existe una red **GPON** implantada y en la que se pueden añadir usuarios. Sin embargo la nueva zona no es lo suficientemente grande como para resultar rentable desplegar una nueva red **GPON** para esta zona. En estos casos, no haría falta instalar una nueva **OLT** cerca de la nueva comunidad, sino que, si las distancias lo permiten y el número de usuarios disponibles es suficiente, podemos utilizar una rama de la **GPON** ya desplegada para, a través de **GPON-Extender**, prolongar la rama y crear un nuevo nivel de splitting que de servicio a la nueva comunidad que queremos incluir en la red **GPON**. En la Figura 2.9 se observa la aplicación del **GPON-Extender** para extender las ramas de una red **GPON**.



**Figura 2.9** Uso del GPON-Extender en nuevas zonas

De esta manera se abarata considerablemente el costo de despliegue y de operación en la nueva zona a cubrir, a la vez que permite amortizar y maximizar la inversión previamente realizada en la implementación de la red **GPON** existente, al utilizar su infraestructura para dar servicio a la nueva comunidad.

## 2.7 ESTÁNDARES Y NORMATIVAS TÉCNICAS PARA G-PON.

El **ITU-T** empezó a trabajar sobre **GPON** en el año 2002. La principal motivación de esta tecnología era ofrecer mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios **IP** y una especificación completa adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.

**GPON** está estandarizado en el conjunto de recomendaciones **ITU-T G.984.x** ( $x = 1, 2, 3, 4$ ). Las primeras recomendaciones aparecieron durante los años 2003 y 2004, y ha habido continuas actualizaciones en años posteriores. Aunque mucha de la funcionalidad que no está relacionada con **GPON** se conserva respecto a sus tecnologías predecesoras, principalmente **BPON**, tal y como mensajes **OAM**, **DBA** (Database Administrator, Administrador de Base de Datos), etc., **GPON** se basa en una capa de transmisión completamente nueva.

El comité encargado de los procesos de normalización en la **ITU-T**, aprobó en 2004 la recomendación **ITU-T G.984**, más conocida como **GPON**:

- **G.984.1** Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales
- **G.984.2** Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos
- **G.984.2** Enmienda 1 (02.2006): Nuevo apéndice III – Prácticas idóneas utilizadas en la industria para redes ópticas pasivas con capacidad de 2,488 Gbit/s en sentido descendente y 1,244 Gbit/s en sentido ascendente
- **G.984.3** Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
- **G.984.3** Enmienda 1
- **G.984.3** Enmienda 2
- **G.984.3** Enmienda 3
- **G.984.3** Implementers Guide
- **G.984.4** Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica
- **G.984.4** Enmienda 1
- **G.984.4** Enmienda 2
- **G.984.4** Enmienda 3
- **G.984.5** Enhancement band for gigabit capable optical access networks
- **G.984.6** Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Reach extension
- **G.Imp984.3** Implementers' Guide for **ITU-T** Rec. G.984.3

## 2.8 G-PON EN EL MUNDO

**GPON** es una red de fibra que ofrece una alternativa de mayor ancho de banda frente a las soluciones actuales de **DSL** y cable. Actualmente es la tecnología preferida en Norte América, Latinoamérica, Europa, India y Singapur. En Norteamérica, los operadores empezaron a desplegar sistemas **BPON**, pero ya han comenzado la migración a **GPON**. **EPON** (también conocido como **GEPON**) tiene un gran éxito en Japón. En China, Hong Kong, Taiwan y Corea del Sur, se están utilizando ambas tecnologías. **GPON** se plantea como una de las alternativas que hagan realidad el concepto **FTTx** que engloba

la familia de aplicaciones para el bucle de abonado por fibra, tales como **FTTH**, **FTTB** y **FTTC**.

Los marcos económico, legal y tecnológico en el que se producen los despliegues **FTTH-GPON** hacen de este un mundo un lugar compartido. A continuación en la Tabla 2.1 se presenta el por qué y la consecuencia:

**Tabla 2.1 ESCENARIOS Y CONSECUENCIAS DE GPON EN EL MUNDO.**

Escenario	Consecuencia
<p>Objetivo de precio reducido por abonado: Necesidad de poder comprar los terminales de cliente más baratos posible manteniendo un nivel de calidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de <b>interoperabilidad</b> entre cualquier fabricante.</li> <li>- Cada fabricante: un enfoque <b>OMCI</b> distinto.</li> <li>- Componentes ópticos de baja calidad que acortan el presupuesto óptico de la <b>PON</b>.</li> </ul>
<p>Medio ascendente compartido en una red <b>PON</b>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Canal ascendente complejo.</li> <li>- Proceso de negociación complejo.</li> <li>- Cualquier detalle puede alterar el proceso de negociación</li> </ul>
<p>Obligaciones regulatorias: Obligación a los operadores de realquilar el servicio <b>GPON</b> a otros operadores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de interoperabilidad entre terminales de distintos operadores.</li> <li>- Necesidad de verificar el funcionamiento de la <b>PON</b> y comprobar el cumplimiento de los <b>SLAs</b> contratados.</li> <li>- En algunos casos no hay acceso de gestión a uno de los terminales, impidiendo diagnosticar un problema.</li> <li>- Necesidad de unificar la manera de</li> </ul>

	establecer los servicios,
Obligaciones Regulatorias: Obligación a realquilar tramos de fibra dentro de los edificios de los abonados	- Necesidad de diagnosticar el buen funcionamiento de esos tramos.

## 2.9 VENTAJAS, OBJETIVOS Y SEGURIDAD DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS

Habitualmente los splitter, en tecnología **ADSL**, denominados **DSLAM**, tienen por regla general la capacidad de dividirse en bloques de 64 usuarios, aunque según la teoría de la norma sería capaz de replicarse hasta 128.

Pero hay que considerar la atenuación. A pesar de que sea fibra, y la distancia a priori no sea un problema, la realidad es que el límite máximo de calidad se establece en 20 kilómetros si hay 64 usuarios conectados al puerto **GPON**, aunque la norma permitiría hasta 60 kilómetros.

**¿Por qué esta atenuación?:** la señal se mide por su potencia, dado que se debe replicar la señal y repartirla a 64 usuarios por cada puerto, lo que está ocurriendo es que se divide la potencia de la señal entre 64, reduciéndose la misma de forma considerable. En áreas rurales muy alejadas, si se plantease el despliegue **GPON**, se podría llegar a sobrepasar el límite de los 20 kilómetros, evitando que a ese puerto **GPON** concurren, por ejemplo, más de 32 usuarios. En esa situación se podría conseguir que la potencia que llegase a los 32 usuarios lo hiciese con el doble de señal, que si hubiera sido repartida a 64.

En cada uno de los slots del Splitter, se pueden colocar hasta 16 tarjetas con capacidad para 4 puertos **GPON**, y en cada uno de dichos puertos se pueden conectar 64 clientes. Es decir que un equipo de conmutación, splitter, puede interconectar a 4096 usuarios. La capacidad de conmutación máxima de un splitter **GPON** puede llegar a ser de 1 Tbps (1 Terabit por Segundo)

Una trama **GPON** permite una recepción máxima de 2.5 Gbps descendente y 1.25 Gbps ascendente, que a su vez debe ser repartida entre los usuarios interconectados. Y esto es así porque el protocolo multicast replica la información.

Es decir que si varios usuarios de televisión digital se encuentran interconectados al mismo puerto **GPON**, si uno pide el canal de fútbol pay per view, y lo paga, los paquetes de esa emisión lo están recibiendo el resto de los 63 usuarios también. De la misma manera que si hay 30 usuarios viendo un canal donde emiten una película, el operador sólo envía una vez los paquetes de la película porque dicha información se replica en el splitter y le llega a todos los usuarios.

### **2.9.1 ¿GPON es seguro?**

En teoría, se supone que sí. Entre la central, splitter, y el cliente, se manejan juegos de claves públicas y privadas, para encriptar la señal, y que cada usuario sólo sea capaz de descryptar los paquetes que recibe para sí mismo, pero lo que está claro es que a nivel de señal, físicamente se reciben los paquetes de todos los usuarios conectados al mismo puerto **GPON**. Cuando comiencen los despliegues masivos de **GPON** sobre **FTTH**, se va a evaluar si realmente es seguro o no el entorno multicast.

### **2.9.2 Ventajas de las redes GPON**

Entre las ventajas que presentan las redes **GPON** se pueden indicar las siguientes:

- ✚ Aumenta el alcance hasta los 20 km (desde la central). Con tecnologías **xDSL** como máximo se alcanzan los 5,5 km
- ✚ Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario. La actual tecnología **GPON** puede ofrecer hasta 2,5 Gbps para cada 64 usuarios. Ya se están trabajando en estándares que elevan este ancho de banda hasta los 10 Gbps.
- ✚ Mejora la calidad del servicio debido a la inmunidad que presenta la fibra frente a los ruidos electromagnéticos.
- ✚ Se simplifica el despliegue de fibra óptica gracias a su topología, lo cual implica ahorro de costos asociados al despliegue de red. Además del ahorro que supone el empleo de fibra óptica frente al cobre, la topología árbol-rama de la red de fibra,

junto al empleo de sistemas de transmisión monofibra, reduce notablemente los costos de implantación.

- + Se reduce el consumo por no haber equipos activos
- + Más baratas que las punto a punto
- + **GPON** utiliza la encriptación definida en **ITU** estándar. Sin embargo **GPON** sólo limita la encriptación al canal descendente.

### 2.9.3 Objetivos de GPON

Los objetivos al implementar redes **GPON** son los siguientes:

- + Transporte multiservicio: Voz **TDM**, transporte síncrono **SONET/SDH**, Ethernet (10/100 BaseT), **ATM**.
- + Multirate: Soporte de varios bitrate con el mismo protocolo, incluyendo velocidades simétricas de 622 Mb/s, 1.25 Gb/s, y asimétricas de 2.5 Gb/s en el enlace descendente y 1.25 Gb/s en el ascendente.
- + Alcance máximo de 20 Km, aunque el estándar se ha preparado para que pueda llegar hasta los 60 km.
- + **OAM** extremo a extremo.
- + Seguridad del nivel de protocolo para el enlace descendente debido a la naturaleza multicast de **PON**.
- + El número máximo de usuarios que pueden conectarse a una misma fibra es 64 (el sistema está preparado para dar hasta 128).

### 2.10 EL PROTOCOLO OMCI (ONT MANAGEMENT AND CONTROL INTERFACE)

Es el protocolo estándar de **GPON** para el control por parte de la **OLT** de las **ONT**. Este protocolo permite:

- Establecer y liberar conexiones en la **ONT**
- Gestionar los puertos físicos de la **ONT**
- Solicitar información de configuración y estadísticas de rendimiento

- Informar autónomamente al operador del sistema de eventos, tales como cortes de fibra

El protocolo **OMCI** (Open Manage Client Instrumentation) se ejecuta sobre una conexión **GEM** entre la controladora del **OLT** y la controladora de la **ONT** y es establecido durante la fase de arranque de la **ONT**. Este protocolo es asimétrico: el **OLT** es el maestro y la **ONT** es el esclavo. Un único **OLT** empleando diversas instancias del protocolo sobre canales de control independientes puede controlar múltiples **ONTs**. Los requerimientos de la **OMCI** dados en la recomendación G.984.4 de la **ITU-T** son necesarios para manejar la **ONT** en las siguientes áreas:

- Gestión de la configuración
- Gestión de fallos
- Gestión del rendimiento
- Gestión de la seguridad

## 2.11 ANALIZADOR DE REDES G-PON

Es un analizador pasivo independiente de fabricante del protocolo de **FTTH GPON** orientado al análisis de interoperabilidad. Se conecta a un punto de la fibra de distribución de una red **FTTH GPON** y:

- ✚ Captura datos a nivel de bit de la fibra tanto en descendente como ascendente.
- ✚ Interpreta los datos almacenando toda la información de control del protocolo tanto a nivel **OAM, PLOAM** (Physical Layer Operations, Administration and Maintenance), **OMCI Y DBA**.
- ✚ Analiza los datos componiendo la situación topológica y máquinas de estados de los diferentes elementos que hay en la red (**ONTs/OLT**)
- ✚ Aplica una serie de reglas de evaluación para identificar posibles negociaciones que no hayan seguido el protocolo **ITU-T G.984.x**.
- ✚ Pasivo: captura datos de la fibra de manera transparente, no modifica ni intercepta los datos que se mueven por la red.

- ✚ Independiente del fabricante: no está basado en ningún chipset de **ONT/OLT** de ningún fabricante. De esta manera sus resultados son independientes de implementaciones comerciales específicas.
- ✚ Protocolo **FTTH GPON**: protocolo definido por la **FSAN** y utilizado actualmente en el despliegue de **FTTH** según recomendación **ITU-T G.984.x**.
- ✚ Orientado a Interoperabilidad: el análisis de protocolo está orientado a encontrar posibles errores en la negociación y transmisión entre dispositivos **GPON** debido al no cumplimiento del estándar. Es perfecto para evaluar implementaciones de elementos de red **GPON** y evaluar su interoperabilidad con dispositivos:
  - Del mismo Fabricante
  - De fabricantes distintos.



---

**Figura 2.10 DOCTOR G- PON**

### **2.11.1 Características técnicas generales de Dr. G-PON**

Las características técnicas que presenta **Dr. GPON** se detallan a continuación:

- 
- ✚ Sistema de captura
  - ✚ Hardware de captura de implementación propia independiente de chipsets comerciales: Independizado de implementaciones particulares de fabricantes.
  - ✚ Capacidad para “pinchar” de manera no invasiva una red **GPON** en cualquier punto.

- ✚ Sistema de sincronización de distancia: Calcula la distancia del analizador a la **OLT** y se sincroniza con el canal descendente y ascendente.
- ✚ Capaz de captar datos de control de la red **GPON** tanto en ascendente como descendente incluyendo:
  - **OAM**
  - **DBR-DBA**
  - **PLOAM**
  - **OMCI**
- ✚ Capturas de información de control de 30 a 60 minutos (Según configuración del equipo y tipo de tráfico).
- ✚ Sistema de Análisis
- ✚ **CST-GGS** (Cold Start Topology-**GPON** Guess System) capaz de reconstruir la topología de red a partir de los mensajes de control y negociación:
  - **ONTs** que cuelgan de la fibra intervenida.
  - Estado de negociación
  - Máquina de estados de cada elemento de red.
- ✚ **PERB** (Protocol Evaluator Rule Based): A partir de una captura y la deducción de topología aplica una serie de reglas de control que permiten:
  - Detectar situaciones anómalas en la negociación.
  - Comprobación del cumplimiento del estándar por parte de las **ONT** y **OLT**.
  - Evaluación de nivel Interoperabilidad entre dispositivos.
  - Almacenamiento
  - Las capturas se pueden volcar en el disco duro incorporado para su análisis posterior.
  - Las capturas se almacenan en formato binario.
  - Capturas exportables a formato **XML** (Extensible Markup Language Lenguaje de Marcas Extensible) para ser utilizadas con otras aplicaciones.
  - Las capturas se pueden volcar en un sistema de almacenamiento externo.
- ✚ Equipo:
  - Equipo autocontenido: no necesita teclado o ratón.
  - Pantalla táctil de 11' de alta resolución
  - Sistema de almacenamiento interno.

- Acabado en aluminio blanco o negro.
  - Sistema Operativo Windows XP Embedded
- 

### 2.11.2 Diagnóstico y análisis OMCI Dr. GPON

---

Es capaz de capturar toda la información **OMCI** en una **PON** para:

- ✚ Crear una composición de estado de las entidades **OMCI** residentes en una **ONT** con el valor de sus atributos.
- ✚ Verificar que las entidades utilizadas están definidas en el estándar y se usan correctamente.

La capa **OMCI** y el soporte de las entidades de gestión **OMCI** en las **ONTs** es la principal fuente de problemas de interoperabilidad entre equipos **GPON**.

---

### 2.11.3 APLICACIONES

Sus aplicaciones principales son las siguientes:

- ✚ Herramienta fundamental en el despliegue de una nueva red **GPON**.
  - ✚ Análisis de incidencias y mal funcionamiento en una red **GPON** establecida
  - ✚ Solución de problemas de interoperabilidad entre diferentes fabricantes **GPON** en la red de una Operadora
  - ✚ Evaluación del cumplimiento del protocolo en el desarrollo de **OLTs/ONTs GPON**
  - ✚ Análisis de protocolos sobre **GPON** desde el medio Ethernet
- 

### 2.11.4 CASOS DE USO

Los casos en que debe ser utilizado son los siguientes:

- ✚ Test Interoperabilidad **GPON 984.x**
- ✚ Verificación del proceso de negociación:

- Verificación del uso de las entidades correctas y de manera correcta.
  - Cumplimiento de los parámetros temporales
  - Detección de usos desactualizados del estándar
  - Uso de mensajes no estándar.
  - Detección del punto concreto en el que se detiene la negociación
  - Capaz de generar un informe con los errores detectados.
- ✚ Diagnóstico de **PONs** problemáticas:
- Identificación del Terminal que origina una incidencia
  - Detección de errores en la línea: **FEC** (Forward Error Correction, corrección de errores hacia adelante) y **CRC** (Comprobación de Redundancia Cíclica)
  - Diagnóstico de situaciones de Presupuesto óptico sobrepasado.
- ✚ Acotar problemas en una **GPON**:
- Identificar que parte de la **PON** es la que origina el problema.
  - Ayuda al saneamiento y monitorización de una **PON**
- ✚ Conocer el estado de la red y todos sus componentes (**ONTs**)

A partir de los datos capturados puede realizar una interpretación que permite conocer el estado de los elementos conectados a la **PON**.

En el capítulo 3 se explicará el diseño de la red dentro de la Universidad, su tendido, historia de los proveedores que han dado el servicio de datos al Campus, los equipos a utilizarse, análisis financiero básico del mismo, materiales utilizados en la demostración del tendido de G-pon (planimétrico), listado de materiales electrónicos utilizados en la demostración y el significado de cada punto expuesto en la planimetría a mostrar orientado netamente al proyecto de la red, su funcionamiento, arquitectura y estructura interna de la UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL.

## **CAPITULO 3            DISEÑO DE LA PROPUESTA DE UNA    RED GPON PARA LA UCSG**

Previo a la presentación del diseño que se ha preparado para la red GPON para la UCSG se detallarán algunos datos acerca de la red existente en la universidad, los principales proveedores de Internet en Ecuador, entre otros aspectos.

### **3.1 CONSIDERACIONES**

En la actualidad en el Ecuador, debido a la competencia y al surgimiento de nuevos proveedores de Internet se ha producido una baja en los precios por ejemplo en la oferta de Internet de Banda Ancha, pero el objetivo de cada proveedor no es otro que conservar o, en su caso, ampliar sus clientes.

La propuesta del estudio del diseño de una Red GPON para la UCSG está enfocada en la utilización de cada uno de los nodos geográficos que cubren el campus académico y que se encuentran conectados mediante enlaces de fibra.

El Centro de Cómputo de la UCSG, dirigido por el Ing. Vicente Gallardo Posligua, trabaja con la red de fibra óptica, es una red que proporciona servicio de telefonía y datos utilizando un anillo de fibra para la transmisión de estos servicios, a esta red se la ha denominado Backbone ATM, que interconecta todas las unidades académicas y administrativas del campus, a través de un anillo de fibra óptica. Permite el tráfico de internet y datos de aplicaciones a velocidades que oscilen entre 10 y 155 Mbps El proyecto, que, nació en 1988 como una propuesta de la comisión de Desarrollo Tecnológico de la Facultad de Ingeniería, fue concesionado a la empresa IBM del Ecuador, por el cual la conceptualización y marcha de proyectos que permiten la transmisión de voz, datos y video mediante un mismo medio, es factible con una inversión mínima. Esta red existe actualmente en el campus académico pero no está optimizada al cien por ciento, se utiliza demasiados hilos de fibra para brindar servicio telefónico PBX y para transmisión de datos, la utilización del servicio RF o video no

existe pero cabe recalcar que el tendido de F.O. atraviesa toda la universidad y es la base para este proyecto de una red usando una tecnología innovadora llamada G-PON.

### **3.2 PRINCIPALES EMPRESAS DE SERVICIOS PORTADORES EN EL PAÍS**

En la tabla 3.1 se detallan las empresas más representativas del Ecuador, que brindan servicios de telecomunicaciones, indicando su red de acceso y los servicios que brindan:

### **3.3 ESTADO ACTUAL DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE LA UCSG**

Actualmente la UCSG tiene un anillo de fibra óptica que pasa por 2 tuberías de dos pulgadas que atraviesan internamente el campus académico, este sistema fue diseñado en el año 1995 por la Cía. para un mejor servicio en lo que se refiere a transmisión de datos, pero esta red no es utilizada de una manera optima, para este fin se considera en este estudio que es necesaria la implementación de una RED GPON la cual permitirá la transferencia de datos a gran escala, aplicación de nuevos servicios y tecnologías como por ejemplo triple play. En la figura 3.1 se puede observar cada una de las facultades de la UCSG.

Cada facultad posee un ancho de banda asignado por el Centro de Cómputo de acuerdo a la demanda que existe en cada una de ellas.

En la Tabla 3.2 se muestra la cantidad de laboratorios y salas de lectura existentes cada una de las facultades de la UCSG y en los cuales se requiere contar con el servicio de Internet. En cada Facultad existen áreas administrativas, secretarías, auditorios, etc., que también son atendidos con los mismos hilos de fibra que llegan a cada facultad para brindar el servicio de telefonía y transmisión de datos, este estudio pretende que estos servicios se brinden a gran escala con el mismo cable que trae la señal actualmente y que la reparte a los servidores para las áreas administrativas, solo se reemplazaría el cable de ingreso de la señal óptica y luego estos seguirán funcionando con normalidad con los mismos equipos finales existentes.

**Tabla 3.1 Principales empresas de servicios portadores en el país**

Concesionaria	Red de acceso	Servicios
ANDINATEL S.A.	Cobre, Fibra óptica	Telefonía fija, Internet, Transmisión de datos, Video conferencia
CONECCEL (PORTA)	Fibra óptica, Cobre, Inalámbrica móvil, Microondas	Telefonía celular, Internet, Transmisión de datos
ECUADOR TELECOM <sup>1</sup> S.A.	WLL, Microondas	Internet, Transmisión de datos, Telefonía fija
ETAPATELECOM S.A.	Cobre, WLL, satélite	Telefonía fija, Internet, Transmisión de datos, Banda ancha satelital
GLOBAL CROSSING S.A.	Fibra óptica, Cobre, Microondas terrestre, Satélite	Transmisión de datos, Internet, Telefonía fija inalámbrica, Video conferencia
GRUPO BRAVCO	Cobre, Microondas, Fibra óptica	Internet, Transmisión de datos
MEGADATOS	Fibra óptica, Cobre, Microondas	Internet, Transmisión de datos, Video conferencia
OTECCEL (MOVISTAR)	Fibra óptica, Cobre, Microondas, inalámbrica	Telefonía celular, Internet, Transmisión de datos
CNT	Cobre, Fibra óptica	Telefonía fija, Internet, Transmisión de datos
PUNTO NET	Cobre, Microondas.	Internet, Internet TV
SETEL	WLL, HFC, Cobre	Telefonía fija inalámbrica
SURATEL (Grupo TV Cable)	HFC, Microondas	Internet, TV Cable Transmisión de datos,
TELCONET S.A.	Fibra óptica, Cobre, Microondas	Internet, Transmisión de datos.
TELEHOLDING S.A.	Fibra óptica, Cobre, Microondas	Internet, transmisión de datos, video conferencia

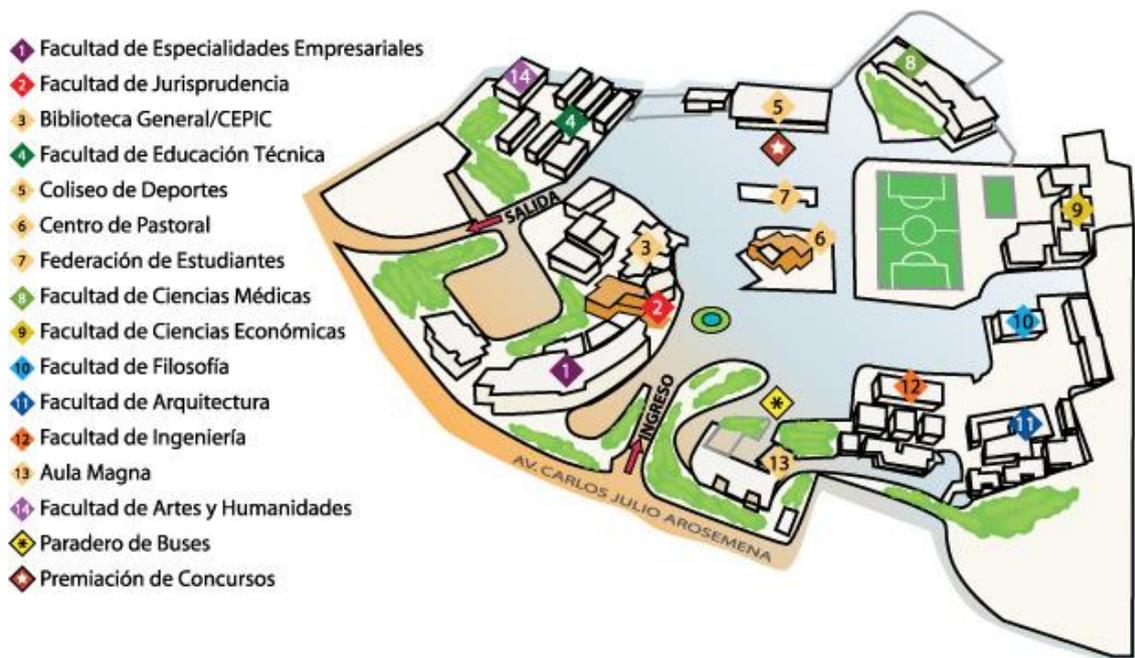


Figura 3.1 Facultades de la UCSG

Tabla 3.2 Laboratorio existentes en la UCSG

Facultad	Lab. Computación	Salas de Lectura
<b>FACULTAD DE ECONOMÍA</b>	5	1
<b>FACULTAD DE MEDICINA</b>	1	1
<b>FACULTAD TÉCNICA</b>	3	1
<b>FACULTAD JURISPRUDENCIA</b>	1	2
<b>FACULTAD EMPRESARIALES</b>	6	-
<b>FACULTAD HUMANIDADES</b>	4	-
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	6	-
<b>FACULTAD ARQUITECTURA</b>	6	2
<b>FACULTAD DE FILOSOFÍA</b>	2	2
<b>COLISEO</b>	-	2
<b>FEDERACION</b>	-	1
<b>CENTRO DE COMPUTO</b>	-	1

A continuación se muestra en la figura 3.2 el estado actual de la canalización existente en la UCSG.

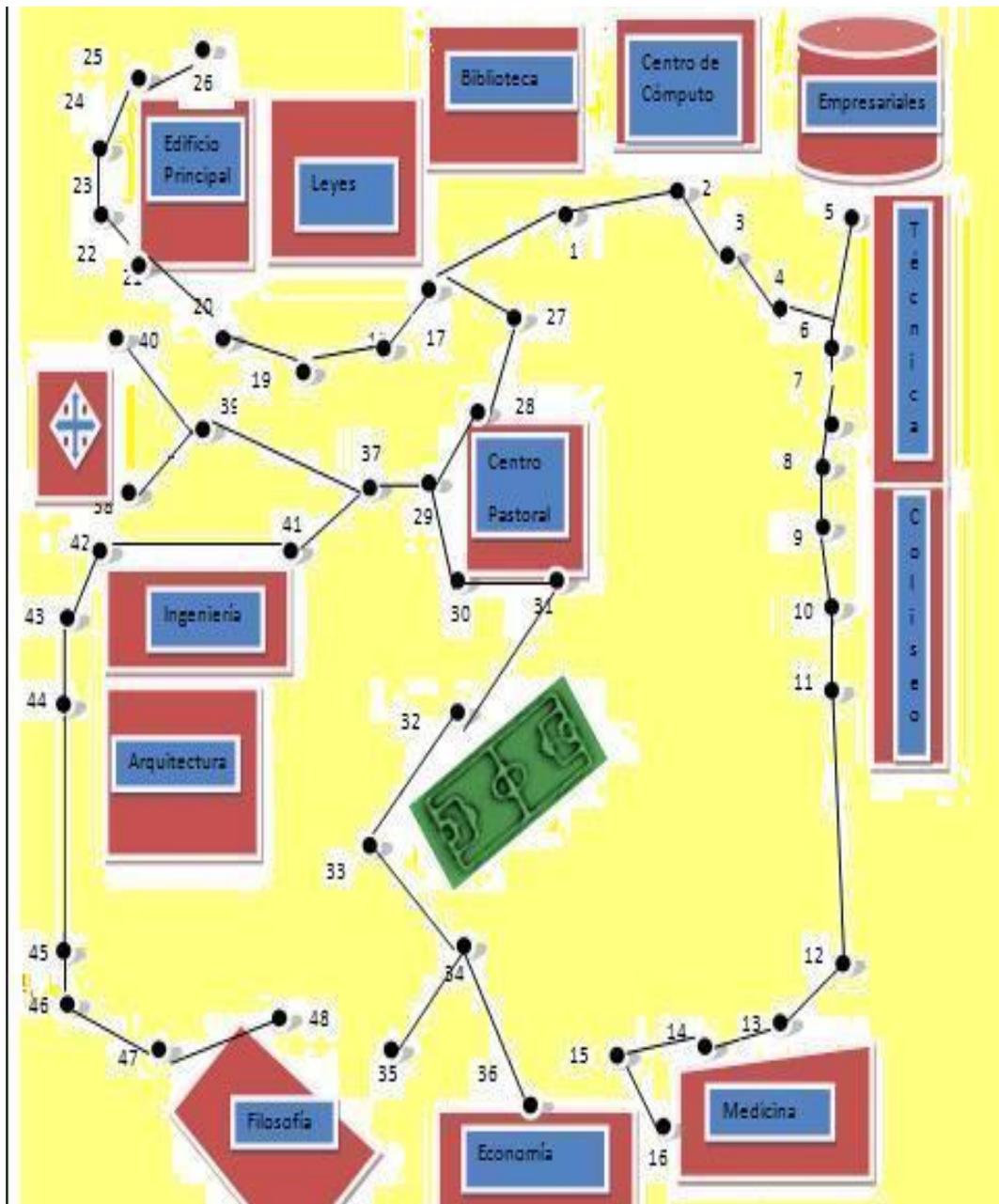


Figura 3.2 Canalización existente por donde pasa la red de F.O. en la UCSG.

### **3.4 DISEÑO DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA U.C.S.G.**

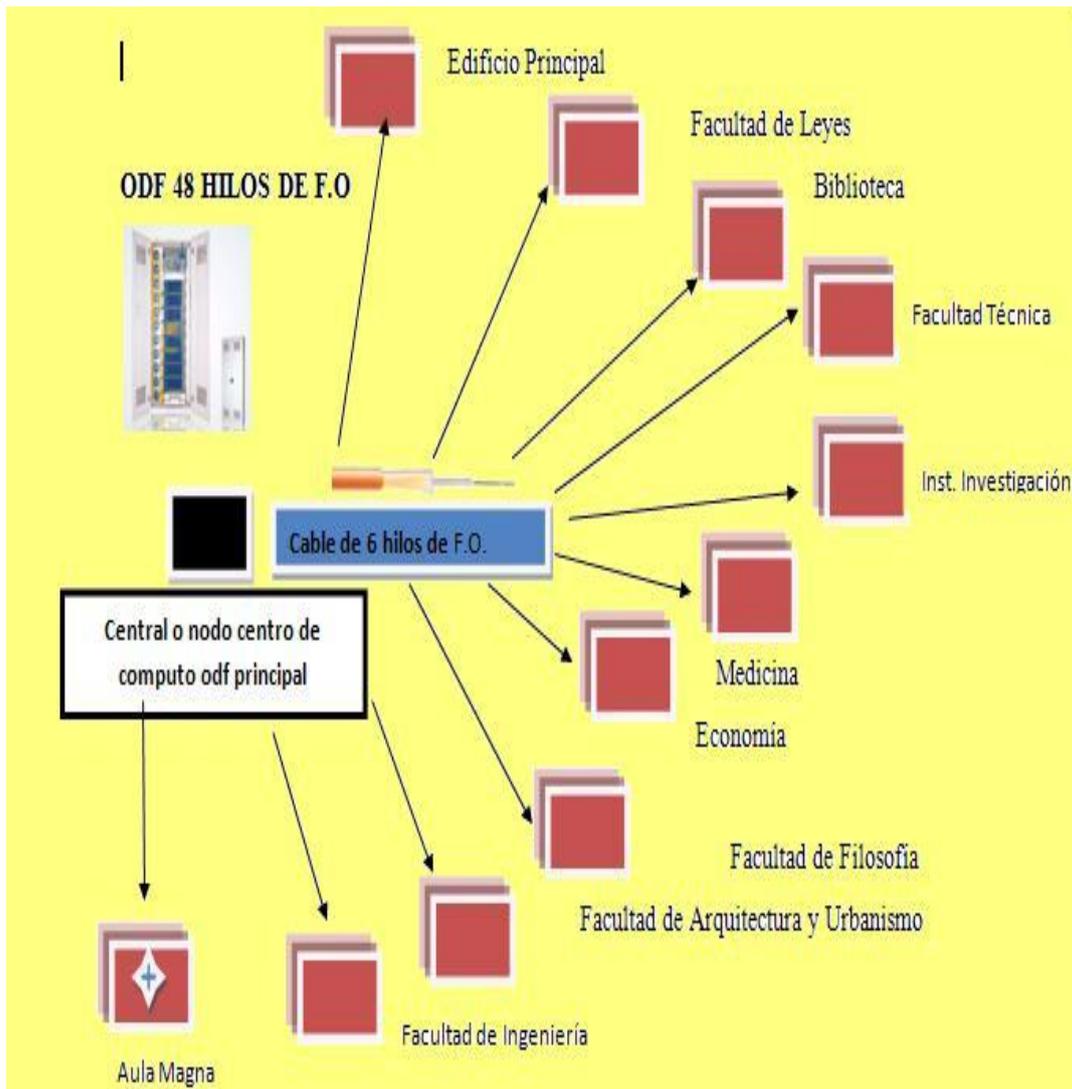
La red de fibra óptica de la U.C.S.G se encuentra diseñada de una manera directa, la salida se encuentra en el centro de computo ubicado en un espacio físico céntrico del campus universitario en el cual encontramos todos los equipos activos los cuales brindan servicio de internet por medio de la fibra, de ahí convergen todas las redes que se dirigen a todas las facultades para brindar el servicio de datos a las áreas administrativas, laboratorios y salas de lectura dentro de cada facultad. Esto se realiza por medio de los ductos y pozos construidos hasta las entradas de las facultades. Desde ahí hacia el ingreso a cada facultad existen pozos de mano para el ingreso canalizado existente hasta el piso falso, tumbados o canaletas ubicadas dentro de cada área que recibe el servicio.

El diseño de la red de F.O. consiste en el tendido directo o PUNTO A PUNTO, este tipo de transporte se lo realiza desde un nodo central donde se encuentra un gran ODF de 48 hilos que ingresa desde la calle donde el proveedor del servicio de datos llega hasta el centro de computo, desde ahí parte un cable de menor capacidad hacia cada facultad por ejemplo a la facultad técnica se le envía un cable de 6 hilos de fibra para repartirse a las áreas administrativas, los laboratorios y las salas de lectura. Así, si existen un total de 8 facultades en el primer pozo encontraremos 8 cables de fibra de menor capacidad.

En la figura 3.3 se presenta la distribución actual de la red de fibra óptica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **3.5 ELEMENTOS PASIVOS DE LA RED G-PON PARA LA U.C.S.G.**

Ya se explicó anteriormente que los elementos pasivos no son más que medios de transmisión de la señal pero sin uso de corriente, es una manera de transportar la señal a diferentes puntos o nodos para que esta luego sea dividida con otro tipo de equipos que serán explicados a continuación. Los Splitters ópticos van a estar ubicados dentro de los pozos ya que son equipos que no se ven afectados por humedad ni ningún tipo de deterioro ya que tienen un tiempo de vida útil de 10 a 15 años, éstos van a ser los encargados de transportar desde una facultad a otra la potencia de la señal ahorrando



**Figura 3.3 Diseño global de la red de fibra óptica punto a punto existente**

Recursos ya que el tipo de splitters a utilizar va a ser de diferente capacidad de transmisión: partiendo desde el centro de computo se van a utilizar dos splitters de 1 a 12 salidas, esto quiere decir que con tan solo con dos hilos de fibra se va a repartir señal hacia todas las áreas atendidas por la red en cada una de las facultades.

A continuación se detallarán en la tabla 3.3 la ubicación de los splitters describiéndolos con el nombre de cada facultad, esto no significa que el elemento pasivo estará dentro de las mismas, simplemente se ha tomado como referencia porque se lo ubicará en el pozo más cercano a cada una de ellas.

**Tabla 3.3 Splitters a utilizarse en Proyecto G-PON para la UCSG**

<b>FACULTAD</b>	<b>Splitters Ópticos.</b>	<b>Tipo de salidas de Splitters.</b>
<b>FACULTAD DE ECONOMÍA</b>	1	1 - 2
	1	1 - 8
<b>FACULTAD DE MEDICINA</b>	1	1 - 2
<b>FACULTAD TÉCNICA</b>	2	1 - 4
<b>FACULTAD JURISPRUDENCIA</b>	-	-
<b>FACULTAD EMPRESARIALES</b>	2	1 - 2
	1	1 - 4
<b>FACULTAD HUMANIDADES</b>	2	1 - 2
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	2	1 - 4
<b>FACULTAD ARQUITECTURA</b>	2	1 - 4
<b>FACULTAD DE FILOSOFÍA</b>	1	1 - 2
	1	1 - 4
<b>COLISEO</b>	-	-
<b>AULA MAGNA</b>	1	1 - 2
<b>CENTRO DE COMPUTO</b>	2	1 - 12
<b>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN</b>	1	1-2

El total de Splitters Ópticos a utilizarse son 21, las salidas están identificadas en la tabla 3.3 y para un mejor detalle se puede observar en la maqueta donde los splitters están indicados con color negro.

## **3.6 MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y CONECTORES DEL PROYECTO DE LA RED INTERNA PARA LA U.C.S.G.**

En esta sección se tratará acerca de algunos elementos importantes para el montaje de la red de fibra óptica proyectada.

### **3.6.1 El Medio de transmisión**

El medio de transmisión en menor escala, aparte del cable de F.O, que puede transportar señales de luz es llamado conector de fibra o patch cord. En el proyecto de la red para la UCSG a la salida de los splitters más cercanos a las facultades se utilizará los patch cord con el cable conector directamente o en su defecto el mismo cable de fibra óptica de menor capacidad, con los cuales se transportará la señal hasta el último equipo llamado ONT.

### **3.6.2 Los conectores**

Los conectores por su apariencia parecen insignificantes y fáciles de destruir pero no es así, son elementos fundamentales en el montaje de la red G- PON proyectada ya que permite asegurar un mejor medio de transmisión para la señal de luz que viaja por este cable hasta llegar a su conector. El patch cord está diseñado de un material casi irrompible, es decir no se tendrá problemas en que este se pueda doblar en ángulos menores a 90 grados, lo cual causaría en otras condiciones el rompimiento de los hilos.

A continuación se analizarán los diferentes tipos de puntas terminales o conectores que se van a conectar a los equipos activos. Una gran variedad de conectores de fibra óptica han sido diseñados para este tipo de instalaciones. Los fabricantes de equipos nunca han estandarizado un conector, sino que realmente ofrecen una amplia selección de conectores como interfaz para sus equipos.

Es muy importante elegir el tipo de conector de fibra adecuado para cada una de sus aplicaciones, siempre teniendo en cuenta que se debe mantener un estándar de conexión a través de todo el proyecto de fibra óptica (Figura 3.4)



**Figura 3.4 Conectores FC a utilizarse en la red G-PON**

### **3.6.2.1 Componentes de un conector**

Para la mayoría de los conectores de fibra óptica, los componentes principales son la férula, el cuerpo del conector, la tapa del conector y el ojo para crimpado:

#### **Férula**

La férula es la parte central del conector. Contiene la fibra óptica en un agujero centrado. Su contenido, la virola, se puede hacer de cerámica, acero inoxidable o de material compuesto.

El casquillo de cerámica es el material más popular, ya que tiene características de temperatura muy estable. El más común es de cerámica Zirconia, que es un material cerámico blanco y duro. Este casquillo de cerámica se utiliza de forma individual y con conectores multimodo. Ofrece la menor pérdida de inserción y la mejor repetitividad.

#### **El cuerpo del conector**

El cuerpo de un conector de fibra óptica puede ser de acero o plástico. Proporciona el mecanismo para mantener las partes unidas. También establece el mecanismo de cierre para el apareamiento del conector. Los mecanismos de cierre más comunes son push-pull y el twist-on.

## **Tapa del conector**

La tapa del conector a menudo tiene el mismo material que el cuerpo: acero o plástico. La tapa puede ser a tornillo, bloqueo por giro o snap-on para el apareamiento del conector.

## **El ojo de crimpado**

Esta es la parte que conecta el cuerpo del conector y el cable de fibra propiamente. Se elabora a partir de caucho. Aunque parece mínima, en realidad es una de las partes más críticas de un conector. Proporciona alivio de la tensión en la fibra óptica para evitar la micro-flexión, la rotura, y proporciona soporte mecánico para el manejo de la fibra y el conector.

### **3.6.2.2 Tipos de Conectores de fibra óptica**

A continuación se muestra los tipos de conectores que se han desplegado en numerosas redes de fibra óptica durante muchos años.

#### **Conector ST**

Es uno de los conectores de fibra más populares. Era muy usado para el modo individual y las conexiones de fibra multimodo. La pérdida de inserción media de un conector ST es de aproximadamente 0,5 dB. Tiene un giro sobre el mecanismo de cierre que no es susceptible a la relajación en el medio ambiente vibrante y es el más utilizado en redes LAN.

#### **Conector FC**

Es el más popular para las aplicaciones monomodo. Cuenta con la menor pérdida de inserción y la mejor repetitividad. Tiene la fibra sobre el mecanismo de cierre.

## **Conector SMA**

Conector SMA es un tipo de conector bastante antiguo que se usa principalmente para aplicaciones multimodo. Hoy en día se sigue utilizando, sobre todo en equipos médicos. Hay dos tipos de conectores SMA en el mercado: SMA 905 y SMA 906. La única diferencia entre ellos es que SMA 906 tiene un manguito recto, mientras que SMA 905 tiene un paso por manguito.

## **Conector D4**

El D4 NEC fue probablemente el primer conector en utilizar cerámica o híbridos de cerámica y puntas de acero inoxidable. Se utiliza una pequeña férula de SCS o FCS. Fue ampliamente utilizado en redes de telecomunicaciones en los años 80 a principios de los años 90 y algunos pueden estar todavía en uso.

## **Conector FDDI**

Generalmente se utilizan para conectar con el equipo desde una sola toma, pero el resto de la red tendrá conectores ST o SC. Ya que ambos utilizan terminales 2,5 mm, que pueden ser acoplados a los conectores SC o ST mediante adaptadores.

## **Conector Bicónico**

El conector Bicónico fue desarrollado por un equipo dirigido por Jack Cook en los Laboratorios Bell en Murray Hill, NJ. Tiene el cuerpo amarillo para las versiones monomodo y negro para las multimodo.

En el proyecto para la red interna de la universidad se recomienda utilizar el tipo de conector FC, como ya se explicó es el más popular ya que tiene menos pérdidas. La mayoría de los transceiver vienen con este tipo de entrada y la salida de los mismos es un puerto Ethernet.

### 3.7 EQUIPO DE TRANSMISIÓN OLT

El OLT que se recomienda utilizar es de marca TELLABS de cuatro puertos, este es el elemento que va a transmitir la señal de luz, controla y gestiona la potencia de transmisión por las fibras y también puede ser monitoreado mediante software. Este equipo va a estar ubicado en el lugar donde se encuentran todos los equipos de telecomunicaciones de la UCSG, es decir en el Centro de Cómputo. Este equipo que por su tamaño puede ser ubicado en un Rack será el equipo que alimente por medio de los splitters a todas las ramificaciones hacia los equipos receptores ONTs (Ver la figura 3.5).



**Figura 3.5 OLT**

Para conocer un poco más de las características del fabricante y del equipo se hablarán a continuación de su modelo y propósito:

El Tellabs ® 8865 GPON es un modelo de próxima generación de terminales de línea óptica (OLT) y transforma redes de los operadores de acceso. Es basado en la arquitectura de hardware-céntrica de la serie 8800 de Tellabs router multiservicio. El Tellabs 8865 OLT permite a los operadores desplegar rápidamente el control y diferenciar los servicios generadores de ingresos como el vídeo interactivo. Con la funcionalidad integrada de servicio, varios de 1 Gbps y 10 Gbps para los enlaces

ascendentes, y el apoyo a cerca de 4.000 terminales de redes ópticas GPON (ONT), el Tellabs 8865 consolida múltiples elementos de red, mejora la escalabilidad de la red y crea una base para la evolución continua de servicios de banda ancha y las aplicaciones de alta densidad GPON.

Con la instalación de un módulo GPON de nueva línea, el Tellabs ® serie 1000 ofrece acceso multiservicio de migración sencilla y rentable de banda ancha de GPON, DSL o DLC. En las instalaciones del abonado, el Tellabs ® 1600-712 ONT GPON soporta servicios de voz residenciales, datos de alta velocidad, IPTV, televisión por cable en una sola unidad.

### **3.8 TELLABS PROVEEDOR DE INFORMACION EN SERVICIOS G-PON PARA EL PROYECTO EN LA UCSG.**

En este estudio se ha escogido a la empresa TELLABS para considerar los valores y costos de los suministros del proyecto, el presupuesto va a estar diseñado según los estándares y productos de esta empresa considerada como la mejor en servicios GPON. A continuación se especificará datos característicos de la empresa:

- Nombre corto: Tellabs
- Dirección: 1415 West Diehl Road, One Tellabs Center
- Teléfono: 1-630-7988800
- Ciudad: Naperville
- Estado: Illinois
- Código postal: 60563
- País: Estados Unidos
- Sitio Web: <http://www.tellabs.com/>
- Email General: [webmaster@tellabs.com](mailto:webmaster@tellabs.com)

DESCRIPCION: Tellabs diseña, fabrica, comercializa y suministra sistemas de transporte de voz, datos, video y acceso a redes utilizados en todo el mundo por empresas de telefonía pública, carriers de larga distancia y fabricantes de productos para servicios inalámbricos.

Los productos Tellabs GPON ofrecen hasta 2,4 Gbps de descarga y hasta 1,2 Gbps ascendentes. Estas velocidades permiten la entrega de paquetes de alta calidad de voz, video y datos como parte de la Solución Tellabs ® Dynamic Home SM.

### 3.9 EQUIPOS TERMINALES ONTS

Este elemento activo llamado ONT va a estar presente en casi toda la red ya que va a estar antes de un equipo final, sea este un computador, un teléfono IP, o un televisor o los tres equipos al mismo tiempo, este equipo trabaja como un Modem en el caso típico del Internet o también como un transceiver en los enlaces de fibra óptica comunes. Este equipo entiende el comportamiento de la señal de luz y desencapsula los paquetes de retorno para que sean entendidos por el equipo final (Figura 3.6).



**Figura 3.6 ONTs TELABS para la red de fibra Óptica.**

Los ONTs que se van a utilizar en este diseño son de marca TELLABS y van a estar ubicados en cada uno de los puntos donde llega el conector de fibra para que este pueda brindar el servicio de datos requerido. Se puede decir que el ONT es indispensable para este tipo de redes, también se lo puede llamar receptor y trabaja a la misma frecuencia de la fibra óptica y con la misma longitud de onda brindando o llevando hasta el o los equipos finales el ancho de banda enviado por medio de los hilos de fibra.

Para su funcionamiento se necesita un cargador conectado al interruptor de 110 v y en su electrónica interna contiene ecualizadores de señal y salida de puerto Ethernet es decir se tiene entrada óptica y salida Ethernet para brindar el servicio de datos e internet a gran escala requerido en la UCSG.

### 3.9.1 Características Técnicas del ONT.

El Tellabs ® 1600 de la serie ONT, es un conjunto de terminales de red basados en estándares ópticos. En combinación con el Tellabs ® 1100 o Tellabs ® 1000 forma Plataformas de Acceso Multiservicio, que le permiten ofrecer servicios de voz, vídeo y datos a alta velocidad a clientes residenciales, empresas y usuarios de la empresa sobre una única fibra óptica a través de la tecnología GPON.

El Tellabs 1600 de la serie de ONT está específicamente diseñado para soluciones de fibra a los predios (FTTP), de fibra a los negocios-(FTTB) y fibra al escritorio (FTTD). En la figura 3.7 se muestran modelos de ONT.



**Figura 3.7 Modelos de ONTs para rack y para facultad.**

### 3.9.2 Beneficios de ONTs TELLABS para la UCSG.

Gracias a estos equipos y componentes se pueden obtener los siguientes beneficios para el Centro Educativo:

- Entregar todos los servicios - incluyendo voz, DS-1, Ethernet, IPTV, VoIP y televisión por cable RF - sobre una sola fibra óptica.
- Soluciones de escritorio ONT, con opciones para el escritorio o montaje de pared, ofrecen una combinación de Ethernet, POTS nativos y los servicios de VoIP.
- Todos los productos ONT facilitan la estrategia de migración de VoIP.
- Las ONT están optimizadas para ofrecer servicios de IPTV.
- Las ONT son sencillas de instalar y fácil de mantener.

- Gestión completa de red de extremo a extremo es proporcionada por el Programa Integrated Network Manager (INM).

### **Características del producto**

- UIT-T G.984.x compatible con las normas
- GPON función ONT Clase B + fibra de caída
- Batería de respaldo
- Prueba de bucle metálico capacidades en cada puerto POTES
- ONT de cubierta incluyen las siguientes características:
  - De escritorio, montaje en la pared, y las unidades de montaje en rack
  - 10/100/1000 Ethernet
  - Nativo POTS y Voz sobre IP (VoIP)
  - Extremadamente bajo consumo de energía por el usuario final
- ONT al aire libre incluye las siguientes características:
  - Ambientalmente endurecido NID
  - El acceso restringido a la electrónica de red y conexiones
  - Compartimento de abonado para la demarcación de los servicios
  - Gestión de la Energía (CLEM) brinda servicios telefónicos salvavidas para un máximo de ocho horas durante un corte de energía, mientras que realiza el cierre de servicios no esenciales.
  - La facultad de la ONT de una sola familia se puede proporcionar a nivel local sobre 24AWG estándar de cables para telecomunicaciones, de una con 110 VAC a 48VDC transformador compacto, situado en las instalaciones del cliente.
  - Indicadores locales LED.
  - Una amplia gama de configuraciones de apoyo unifamiliares y unidades múltiples inquilinos a través de las interfaces y tecnologías siguientes: ollas, VoIP, 10/100/1000 Ethernet, IPTV, VDSL2, ADSL2+, DS-1, RFoG.

En la tabla 3.4 se muestran los ONTs Ópticos y su ubicación por facultades en la UCSG:

**Tabla 3.4 ONTs a utilizarse en Proyecto G-Pon para la UCSG**

<b>Facultad.</b>	<b>ONTs Ópticos</b>
<b>FACULTAD DE ECONOMÍA</b>	2
<b>FACULTAD DE MEDICINA</b>	1
<b>FACULTAD TÉCNICA</b>	3
<b>FACULTAD DE JURISPRUDENCIA</b>	1
<b>FACULTAD DE ESP. EMPRESARIALES</b>	3
<b>FACULTAD ARTES Y HUMANIDADES</b>	1
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	3
<b>FACULTAD DE ARQUITECTURA</b>	1
<b>FACULTAD DE FILOSOFÍA</b>	1
<b>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN</b>	1
<b>AULA MAGNA</b>	1
<b>CENTRO DE COMPUTO</b>	1
<b>IDIOMAS</b>	1
<b>BIBLIOTECA</b>	1
<b>CEYS</b>	3
<b>ADMINISTRACIÓN</b>	3

### **3.10 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO G-PON EN LA UCSG.**

El total de los costos en la implementación del proyecto está regido por los costos de los equipos pasivos y activos de esta red, la desventaja está en que esta tecnología no existe en el País y los equipos tendrían que ser importados y pagar los aranceles y recargos de envío de los mismos.

A continuación se muestra en la tabla 3.5 los costos unitarios de cada equipo:

**Tabla 3.5 Precios unitarios de los elementos para la implementación de la red GPON**

<b>EQUIPO</b>	<b>PROVEEDOR</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>CANT.</b>
<b>OLT</b>	<b>TELLABS</b>	<b>4 PUERTOS</b>	6800.00	1
<b>WDM</b>	<b>ALLOPTIC</b>	1	577.00	1
<b>ONT</b>	<b>TELLABS</b>	1600	319.00	27
<b>Splitters - 2</b>	<b>TELLABS</b>	1 - 12	68.56	2
<b>Splitters - 11</b>	<b>TELLABS</b>	1 - 12	7.00	11
<b>Splitters - 6</b>	<b>TELLABS</b>	1 - 4	20.00	6
<b>Splitters - 1</b>	<b>TELLABS</b>	<b>1 - 8</b>	45.00	1
<b>Cable – 1</b>	<b>Patch Cords</b>	Bovina	850.00	1
<b>Connectors</b>	<b>FC</b>		0.30	100

El total de los equipos a utilizarse con los precios actualizados es de \$ 17.249.12 cabe recalcar que los precios de mano de obra e instalación no se encuentran sumados en el total.

Es importante recalcar que el cable ducto de fibra óptica existente va a ser reutilizado en este nuevo sistema de red de nueva generación, para que la UCSG cuente con la alternativa de poder brindar servicios de datos e internet de ultima generación a velocidades de Gbps, este tipo de transmisiones y de redes son modernas en el Ecuador ya que en nuestro país no se han implementado redes de este tipo.

### **3.11 PRESENTACION DEL PROYECTO**

A continuación se realizará una descripción de los elementos que se entregarán a la Facultad Técnica como resultado del trabajo realizado.

#### **3.11.1 Maqueta de la UCSG con el tendido de F.O.**

El proyecto de estudio, análisis y propuesta de la implementación de un red G-PON para la UCSG será presentado por medio de una maqueta arquitectónica para que pueda haber una interacción visual entre el proyecto y la tesis a presentar demostrando como está diseñado el tendido de F.O. y como viaja hasta los puntos físicos finales.

Para su ingreso a las facultades se han numerado los ductos y el tendido se lo muestra en alto relieve para demostrar las vías de acceso a cada facultad las cuales son mostradas por medio de cajas según las planimetrías exactas de la UCSG de esta manera se muestra visualmente las facultades de la universidad, el paso de la F.O. y el diseño de la canalización en alto relieve (Figura 3.8 y 3.9).



**Figura 3.8 Fotos del diseño y construcción de la maqueta.**



**Figura 3.9** Fotos de la maqueta terminada con el tendido de F.O. en alto relieve.



**Figura 3.10** Fotos de la maqueta terminada con el tendido de F.O.

### 3.11.2 Tablero electrónico

Para la presentación del proyecto también se ha construido un tablero electrónico el cual demostrara por medio de diodos LEDs el funcionamiento y la ubicación de los equipos activos y pasivos de la red. Dentro del mismo se mostrara lo siguiente:

- Esquema de ubicación de cada facultad
- Los equipos activos
- Los equipos pasivos
- La planta externa
- OLT
- ONTs
- Splitters ópticos
- Laboratorios de lectura
- Computación
- Los equipos ubicados en los puntos estratégicos de cada facultad para brindar servicio o repartir la señal a los rack los cuales brindan también servicio a otros puntos de acceso como secretarías, laboratorios, salas de profesores, etc.

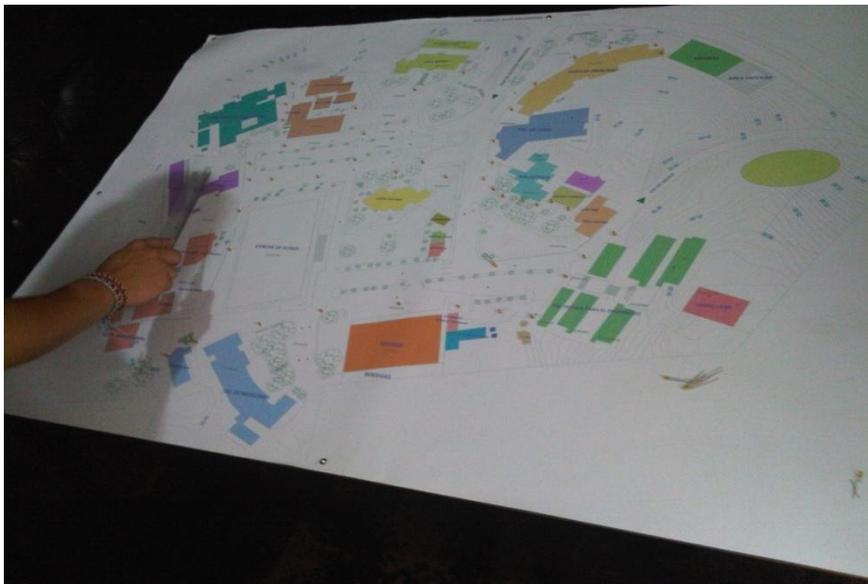
El tablero electrónico tiene como fondo la planimetría de la Universidad y funciona con una fuente de 12 Vdc. El circuito ha sido soldado por la parte inferior con estaño en cada punto y está manipulado por medio de interruptores.

También muestra al OLT o equipo de transmisión como un contador del 0 al 9 ubicado en el centro de computo lo que visualmente indica que de ahí parte la señal hasta las demás facultades donde se ubican los puntos de acceso.

La electrónica interna del tablero que hace funcionar el tablero, los interruptores para los diodos, contador, y el cableado estructurado fueron diseñados con los siguientes elementos:

- **74LS47**
- **74LS160**

- NE 555
- BORNERAS
- BAQUELITAS
- INTERRUPTORES
- DISPLAY
- DIODOS LEDS
- CABLE UTP MULTIPAR



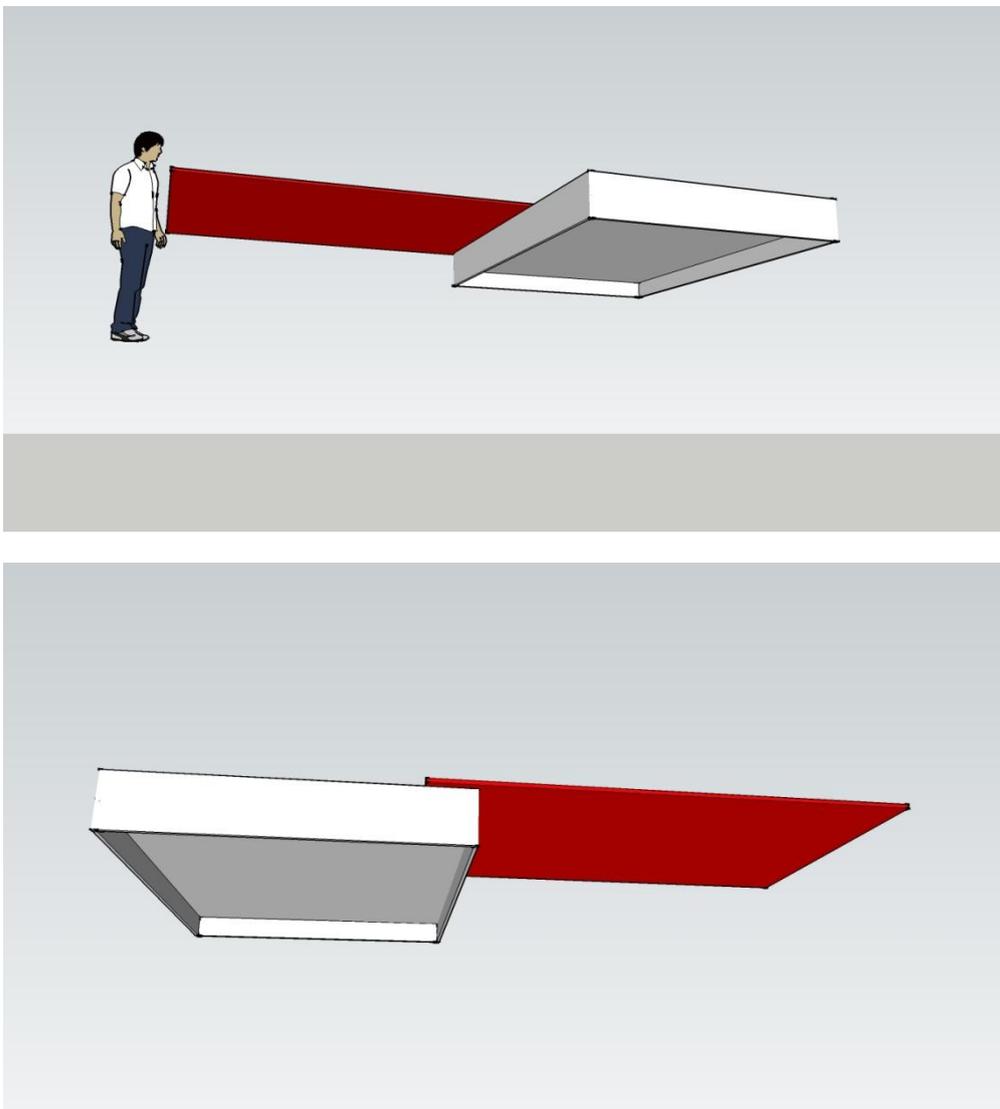
**Figura 3.11 Fotos de la elaboración del tablero electrónico.**



Figura 3.12 Foto del tablero electrónico.

### 3.11.3 Tablero de MDF

Los elementos para presentar la maqueta y el tablero electrónico están sostenidos por una caja de MDF con una rótula giratoria la cual hace que el manejo y el transporte del proyecto se encuentre seguro. En la parte superior se observa la maqueta y al girar la tabla en la parte interior del tablero se ve el tablero electrónico donde se observa lo expuesto anteriormente. El tablero se sostiene con dos bisagras colocadas en la parte superior para que al mover la parte superior se pueda sostener sobre alguna base o superficie plana (Figura 3.13)



**Figura 3.13 Fotos del tablero de MDF**

### **3.12 PRESUPUESTO DE MATERIALES Y ELEMENTOS ENTREGADOS A LA UCSG**

Los elementos que se entregan con esta tesis para que sean utilizados por profesores y estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, en aquellas asignaturas en que se traten temas afines con el de este estudio tales como Sistemas de Fibra Óptica, Telemática, entre otras, alcanzan un presupuesto de \$ 420,00 de acuerdo al siguiente detalle:

<b>ELEMENTOS</b>	<b>COSTO</b>
<b>MAQUETA ARQUITECTONICA</b>	250 \$
<b>TABLERO ELECTRONICO</b>	100 \$
<b>MANGA OPTICA CON CASETERA DESMONTADA</b>	65 \$
<b>5 CONECTORES DE FIBRA FC -SP-</b>	25.00 \$
<b>5 TAPS DE DISPERSION PARA RF DESMONTADOS.</b>	50.00 \$
<b>2 ACOPLADORES PARA RF DESMONTADOS</b>	25.00 \$

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

La tesis estudio, análisis y propuesta de la implementación de una red GPON para la UCSG fue creada para ofrecer una opción a la universidad de ser la pionera en el país en otorgar internamente una red de servicios ópticos punto a punto con tecnología GPON, es decir llegar con fibra hasta los racks de distribución y equipos finales para así otorgar servicios de internet, datos, voz sobre IP entre otros que se pueden brindar sobre la plataforma de esta red.

Mediante los elementos que se entregan como producto de este trabajo de graduación se muestra de manera visual todos los puntos de acceso y equipos a utilizarse dentro de este proyecto de diseño para dotar a la UCSG de una red GPON.

Se han podido interrelacionar áreas de estudio como la electrónica, telemática y los sistemas de fibra óptica, de tal manera que combinadas permitan presentar un proyecto de tesis de grado que deja la puerta abierta para una mejora dentro de la red utilizada en la UCSG actualmente, para que logre ser un aporte para los estudiantes que la conforman.

Se ha tratado de promover dentro del Campus académico el tan acreditado y competitivo Triple Play que con el tiempo y la inversión puede convertirse en una realidad y con velocidades del orden de los Gigabits que ningún proveedor puede brindar si no es a costos excesivos, solo el tendido de F.O. nos dota de este tipo de bondades y dentro de la UCSG sería aprovechar al máximo el potencial de la fibra óptica ya tendida.

El proyecto de tesis nos deja una proyección a un fuerte negocio en el mundo de las telecomunicaciones ya que como se mencionó anteriormente G-PON será el futuro en las redes FTTH. Este se puede transformar en un negocio para lugares cerrados y de un target económico de Alto hacia arriba como lo son colegios, urbanizaciones privadas,

universidades, entre otros que pueden migrar hacia un mejor servicio. Se puede brindar internamente servicio óptico hasta el hogar con OLTs de dos puertos que son los más económicos y suficientes para generar señal dentro de estos lugares cerrados. Cabe recalcar que las empresas llegan hasta los racks de distribución con cobre o coaxial.

## **BIBLIOGRAFIA**

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

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

Seybold, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. New Jersey: Wiley and Sons, Inc. ISBN 13 978-0-471-65596-1

## **REFERENCIAS**

Millán, R., (2008). *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. Recuperado del sitio <http://www.ramonmillan.com/documentos/gpon.pdf>

Millán, R., (2007). *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. Recuperado del sitio <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_óptica\\_pasiva](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_óptica_pasiva)

<http://www.vivalared.com/gpondejara-obsoleto-al-adsl>

<http://www.wikitel.info/wiki/GPON>

<http://www.adslnet.es/index.php/2009/02/27/que-es-el-multicast-de-ftth-gpon-¿es-seguro/>

<http://www.plataformasinc.es/index.php/esl/Noticias/Presentan-el-primer-Analizador-GPON-europeo>

<http://www.telnet-ri.es/index.php?id=340>

<http://www.adslzone.net/noticia283-gpon-vs-ethernet-p2p-para-ofrecer-fibra-hasta-el-hogar.html>

[http://www.tecnalia.es/intranet/uploads/noticias/adjuntos/657\\_NP091202\\_telnet.pdf](http://www.tecnalia.es/intranet/uploads/noticias/adjuntos/657_NP091202_telnet.pdf)

<http://www.analitica.com/zonaempresarial/6886387.asp>

<http://alotelecom.blogspot.com/2009/07/telmex-argentina-apuesta-por-el-gpon.html>

<http://www.tellabs.com/news/2006/nr060506.shtml>

[http://www.bnamericas.com/company-profile/telecomunicaciones/Tellabs, Inc.-Tellabs](http://www.bnamericas.com/company-profile/telecomunicaciones/Tellabs,_Inc.-Tellabs)

## GLOSARIO

<b>ADSL:</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonado Digital Asimétrica.
<b>AES:</b>	Advanced Encryption Standard, Estándar Avanzado de Encriptación.
<b>APON:</b>	Asynchronous Transfer Mode over Passive Optical Network.
<b>APON:</b>	<b>ATM-PON</b> , Asynchronous Transfer Mode PON, Modo de Transferencia Asíncrona PON.
<b>BPON:</b>	Broadband <b>PON</b> - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha.
<b>CAPEX:</b>	Gastos de Capital.
<b>CDM:</b>	Code Division Multiplexing, Multiplexación por División de Código.
<b><u>CDMA</u></b>	Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código.
<b>CST-GGS</b>	Cold Start Topology- <b>GPON</b> Guess System.
<b>CNT</b>	Corporación Nacional de Telecomunicaciones.
<b>DFB</b>	Láser de Retroalimentación Distribuida, Distributed FeedBack Laser.
<b>DBA:</b>	Dynamic Bandwidth Allocation, Ubicación Dinámica del Ancho de Banda.
<b>DWDM:</b>	Dense wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas.
<b>DSL:</b>	Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado
<b>EDFA:</b>	Erbium Doped Fiber Amplifier.
<b>EFM:</b>	Ethernet First Mile.
<b>FDM:</b>	Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia.
<b>FTTB:</b>	Fiber To The Building, Fibra Hasta El Edificio.
<b>FTTH:</b>	Fiber To The Home, Fibra Hasta El Hogar.
<b>FTTC:</b>	Fiber To The Curb, Fibra Hasta La Acera.

<b>FTTN:</b>	Fiber To The Node, Fibra Hasta El Nodo.
<b>FEC:</b>	Forward Error Correction, corrección de errores hacia adelante
<b>F.O.:</b>	Fibra Óptica
<b>GEM:</b>	<b>GPON</b> Encapsulation Method, Método de Encapsulación <b>GPON</b>
<b>GPON:</b>	Gigabit-capable Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit
<b>HDTV:</b>	High Definition Television, Televisión de Alta Definición
<b>TDM:</b>	Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo
<b><u>URED:</u></b>	Infra-Red Emitting Diode
<b>IP:</b>	Internet Protocol, Protocolo de Internet
<b>ITU-T:</b>	International Telecommunications Union – Telecommunication Sector
<b>IEEE:</b>	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y electronicos
<b>ISI:</b>	Intersymbol Interference.
<b><u>LED:</u></b>	Light Emission Diode, Diodo Emisor de Luz.
<b>NAP:</b>	Network Access Point, Punto de Acceso a la Red
<b>NGN:</b>	Next Generation Network, Redes de Nueva Generación
<b>OMCI:</b>	Open Manage Client Instrumentation
<b>OMCI:</b>	Ont Management and Control Interface
<b>OPEX:</b>	Gastos de Operación
<b>OTDR:</b>	Optical Time Domain Reflectometer, Reflectómetro Óptico en el Dominio Tiempo
<b><u>OSI:</u></b>	Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos).
<b>OLT:</b>	<i>Optical</i> Line Terminal, Unidad <i>Óptica</i> Terminal de Línea
<b>PERB:</b>	<b>Protocol Evaluator Rule Based</b>
<b>PON:</b>	Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva
<b>PLOAM:</b>	Physical Level Operations, Administration, and Maintenance, Niveles de Operación Físicos, de Administración y de Mantenimiento

<b>PMD:</b>	Polarization Mode Dispersion
<b>PLOAM:</b>	Physical Layer Operations, Administration and Maintenance
<b>QoS:</b>	<i>Quality of Service, Calidad de Servicio</i>
<b>RF:</b>	Radio Frecuencia
<b>SOAs:</b>	Semiconductor Optical Amplifier, Amplificador Óptico de Semiconductor
<b><u>TDMA:</u></b>	Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo
<b><u>UV LED:</u></b>	UltraViolet Light-Emitting Diode
<b><u>SDMA:</u></b>	Space Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Espacio
<b>VCSEL:</b>	Láser Emisor de Superficie de Cavidad Vertical, Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser
<b>WDM:</b>	Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda
<b>XML:</b>	Extensible Markup Language Lenguaje de Marcas Extensible

## ANEXOS

### GPON vs Ethernet P2P para ofrecer fibra hasta el hogar



#### **P2P EQUIPO FTTH**

Las tecnologías PON (*Passive Optical Networks*) y, en especial GPON (*Gigabit PON*), son las que más atención han suscitado entre los operadores para desplegar redes de fibra hasta el hogar. Sin embargo, no hay que olvidar, que hay muchas redes de fibra hasta el hogar alrededor del mundo, basadas en Ethernet FTTH (*Fiber To-The-Home*), si bien su peso en cuanto a número de puertos vendidos irá disminuyendo los próximos años. EFM (*Ethernet First Mile*) es la solución cercana a G-Pon por, que han sido los pioneros en la construcción de redes ópticas. En el Norte de Europa. Los principales fabricantes de Ethernet FTTH son ALU, Cisco, Ericsson, Iskratel y PacketFront. Ethernet FTTH activo se basa en switches Ethernet para transportar a alta velocidad voz, datos y vídeo a casas individuales o edificios de viviendas u oficinas. Existen implementaciones donde los switches no tienen por qué estar en cabinas en la calle, sino que pueden estar ubicados en las centrales del operador con una fibra óptica enlazando a cada uno de los abonados. Ethernet activo suele asociarse a la arquitectura donde los switches están en la calle y Ethernet P2P (*point to point*) a aquella en la que el equipamiento activo está sólo en las centrales.

Existen varias razones que hacen Ethernet muy atractivo: la sencillez y conocimiento del protocolo Ethernet, la sencillez en crear una red de acceso abierto -puesto que a cada hogar llega una fibra desde la central es muy sencillo cambiar de un operador a otro-, permite ofrecer unos mayores anchos de banda por usuario, es más sencillo establecer

calidades de servicio y, finalmente, la seguridad es mayor -sin necesidad de encriptación- puesto que las fibras no se comparten.

Pero Ethernet también cuenta con desventajas respecto a las redes PON, siendo la principal el coste, por el hecho de tener que desplegar una fibra hasta cada abonado - lo cual afecta más en tramos largos- y de tener que utilizar más equipamiento activo -es necesario un puerto por fibra-. El mayor equipamiento activo supone más espacio en las centrales y un mayor consumo eléctrico, aspectos que cada vez tienen una mayor importancia.

### **GPON VISIONES INTERNACIONALES**

México, 5 de marzo del 2010 — Alcatel-Lucent anunció que su prototipo de red óptica pasiva con capacidad de 10 Giga bits GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), obtuvo el Premio a la Innovación que otorga el Consejo FTTH (Fiber to the Home) en la categoría “*Innovación Tecnológica y Técnica*”.

El jurado del Premio envió el siguiente mensaje importante a la comunidad mundial de fibra óptica: “A pesar de que se espera que los despliegues de 10G GPON sean una realidad dentro de unos cuantos años, resulta crucial para la industria demostrar que al día de hoy la tecnología 10G GPON es el camino adecuado para seguir adelante con las actuales redes GPON que están evolucionando, al lograr que coexista con su antecesora, la tecnología 2.5G”.

Los proveedores de servicios de comunicaciones operan en un ambiente altamente competitivo. Su estrategia de negocio fundamental para una creciente participación de mercado es ofrecer la máxima capacidad de ancho de banda a un costo que resulte atractivo. Como resultado, muchos de ellos están realizando fuertes inversiones en redes GPON; no obstante, al mismo tiempo necesitan garantizar que estas redes puedan evolucionar sin problema alguno hacia el siguiente nivel. Alcatel-Lucent cree que el

momento es adecuado para mirar hacia el futuro y explorar la tecnología 10G GPON y los caminos para realizar la migración.

En el año 2009, Alcatel-Lucent desarrolló una Terminal Óptica de Red (ONT, por sus siglas en inglés) de 10G GPON y una tarjeta de línea. Esto se anunció y se demostró públicamente durante el Broadband World Forum Europe 2009, en combinación con la tecnología móvil Evolución a Largo Plazo (LTE, por sus siglas en inglés). De esta manera, Alcatel-Lucent fue el primer proveedor en demostrar la convergencia de líneas alámbricas de última generación y el acceso inalámbrico, mediante su plataforma 10G GPON, al proporcionar una capacidad de 10 Giga bits por segundo de bajada y 2.5 Gbps de subida.

De hecho, los despliegues iniciales de 10G GPON tendrán en la mira no solamente a los usuarios de casa sino también proporcionarán algunas aplicaciones específicas tales como redes de retroceso móvil LTE. Después de todo, los servicios móviles de datos están creciendo de manera exponencial y esta tendencia continuará conforme evolucionen las redes 3G networks a tecnología LTE. La tecnología 10G GPON permite a los proveedores de servicio reducir los crecientes costos de operación de las redes heredadas de retroceso móvil y al mismo tiempo ofrecer una amplia gama de aplicaciones de última generación para los usuarios que serán nuevas fuentes de ingresos.

Alcatel-Lucent se encuentra a la vanguardia en el desarrollo de tecnologías de punta mucho antes que las mismas estén sujetas a normas.

### **Argentina apuesta por el GPON**

Telmex Internacional informó en su balance del 2009 que la filial Argentina comenzó el despliegue de una red GPON. La compañía anunció que por medio de esa tecnología óptica ofrecerá paquetes de telefonía y conectividad para Pymes pero lo cierto es que el potencial de esa tecnología le permitirá ofrecer 3Play.