



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis y resolución de fallas en la
instalación y operación de una red GPON
de fibra a la casa**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Marcos David Damian Torres

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Álvaro Alejandro Marroquín Mora



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo lo que me ha dado

A mis padres, por apoyarme incondicionalmente y en todo momento durante la carrera y durante toda mi vida

A mi director de tesis, por brindarme los espacios, recursos y motivación requeridos en la realización de esta tesis

A los profesores que me ofrecieron sus conocimientos y me enfrentaron a retos que me ayudaron a desarrollar mis capacidades y habilidades

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
ÍNDICE.....	II
Objetivos.....	VI
Resumen.....	VI
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Las comunicaciones por Fibra óptica	2
1.1.1 Las fibras ópticas en México y en el mundo	2
1.1.2 Tendencias y perspectivas a futuro	2
1.1.3 Redes PON y GPON	3
1.2 Caracterización y medición de enlaces ópticos.....	4
1.2.1 Fibras ópticas monomodo y multimodo	4
1.2.2 Atenuación en los enlaces de fibra óptica	6
1.2.3 Dispersión en fibras ópticas	7
1.2.4 Empalmes	8
1.3 Equipos de Medición y prueba	9
1.3.1 Empalmadora	9
1.3.2 Medidor de Potencia Óptica	10
1.3.3 Reflectómetro óptico (OTDR).....	10
CAPÍTULO 2	
ESTUDIO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA A LA CASA (FTTH)	12
2.1 Caracterización de elementos de red	13
2.1.1 Trazo de Red	19
2.2 Casa 1	23
2.2.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	23
2.2.1.1 Caracterización de fibra óptica	23

2.2.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	29
2.2.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	29
2.2.3	Resolución de fallas	31
2.2.3.1	Resolución de fallas de capa física	31
2.2.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	31
2.2.4	Conclusiones	31
2.3	Casa 2	32
2.3.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	32
2.3.1.1	Caracterización de fibra óptica	32
2.3.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	34
2.3.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	34
2.3.3	Resolución de fallas	34
2.3.3.1	Resolución de fallas de capa física	34
2.3.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	35
2.3.4	Conclusiones	35
2.4	Casa 3	36
2.4.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	36
2.4.1.1	Caracterización de fibra óptica	36
2.4.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	38
2.4.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	38
2.4.3	Resolución de fallas	38
2.4.3.1	Resolución de fallas de capa física	38
2.4.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	39
2.4.4	Conclusiones	39
2.5	Casa 4	39
2.5.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	39
2.5.1.1	Caracterización de fibra óptica	39
2.5.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	41
2.5.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	41
2.5.3	Resolución de fallas	42

2.5.3.1	Resolución de fallas de capa física	42
2.5.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	42
2.5.4	Conclusiones.....	42
2.6	Casa 5	42
2.6.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	42
2.6.1.1	Caracterización de fibra óptica	42
2.6.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	44
2.6.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	44
2.6.3	Resolución de fallas	45
2.6.3.1	Resolución de fallas de capa física	45
2.6.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	45
2.6.4	Conclusiones.....	46
2.7	Casa 6	46
2.7.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	46
2.7.1.1	Caracterización de fibra óptica	46
2.7.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	48
2.7.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	48
2.7.3	Resolución de fallas	49
2.7.3.1	Resolución de fallas de capa física	49
2.7.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	50
2.7.4	Conclusiones.....	50
2.8	Casa 7	51
2.8.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	51
2.8.1.1	Caracterización de fibra óptica	51
2.8.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	53
2.8.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	53
2.8.3	Resolución de fallas	54
2.8.3.1	Resolución de fallas de capa física	54
2.8.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	55
2.8.4	Conclusiones.....	55

2.9	Casa 8	56
2.9.1	Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON	56
2.9.1.1	Caracterización de fibra óptica	56
2.9.2	Pruebas de activación de servicios en redes GPON	58
2.9.2.1	Protocolo de activación (voz, video y datos)	58
2.9.3	Resolución de fallas	58
2.9.3.1	Resolución de fallas de capa física	58
2.9.3.2	Resolución de fallas en capa de servicios	58
2.9.4	Conclusiones	58
CAPÍTULO 3		
	CONCLUSIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA	62

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es sentar las bases de una metodología para la exitosa implementación de enlaces de fibra óptica a la casa, que pueda ser complementaria a algunos estándares y/o recomendaciones de organizaciones como la IEEE o la ITU, especialmente aplicable para los nuevos proveedores de servicios de voz, video y datos en el país, que por la creciente demanda de servicios por fibra óptica requieran desplegar enlaces funcionales, pero que no tienen el tiempo, ni los recursos humanos y tecnológicos para cumplir con todas las pruebas y requerimientos ideales, de este modo, este trabajo permite determinar los procesos suficientes para una correcta instalación de cables de fibra óptica y una correcta activación de servicios que asegure al cliente la satisfacción con sus prestaciones de telecomunicaciones y permitir a los operadores un mejor aprovechamiento de sus bienes y recursos.

Resumen

En el primer capítulo se pretende establecer las bases teóricas y conceptuales necesarias para el desarrollo del trabajo de análisis y resolución de fallas en la instalación y operación de una red GPON de fibra a la casa, para lo cual se explican las características de las redes GPON, la composición de una fibra óptica, los fenómenos intrínsecos que afectan la transmisión de señales ópticas a través de este medio como lo son la dispersión modal, cromática o por modos de polarización, así también como elementos externos a la fibra, como es el caso de uso de empalmes o conectores para adecuar la fibra con otros segmentos de fibra o con los equipos de transmisión y recepción. También se hace mención de los equipos de medición y prueba necesarios para poder implementar un enlace de fibra óptica hasta el hogar, su funcionamiento general y consideraciones de uso de dicho equipos.

En el capítulo 2 se presentan los análisis y muestras de los resultados obtenidos durante el despliegue de la red de fibra a la casa, tanto mediciones de potencia como mediciones con el OTDR que ayudaron a comprender cómo funciona este tipo de redes y cómo interactúan los elementos que la componen, y así lograr que los servicios proporcionados a cada uno de los ocho clientes este libre o menos propenso a fallas, además se incluyen las particularidades que se enfrentaron en las ocho casas y la manera en que se solucionaron todos los inconvenientes presupuestados e inesperados.

Finalmente en el tercer capítulo son presentadas todas las impresiones, reflexiones, análisis y enseñanzas emergidas en el proceso de elaboración de este texto, tanto en la labor práctica como la teórica, asimismo se sugieren algunas acciones pertinentes cuando se instalen redes FTTH, tratadas a lo largo de esta tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO



1.1 Las comunicaciones por Fibra óptica

1.1.1 Las fibras ópticas en México y en el mundo

En la actualidad, las comunicaciones a distancia empleando como medio de transmisión la fibra óptica se han vuelto un tema de gran relevancia debido a la creciente demanda de datos por parte de los usuarios deseosos de servicios que requieren un mayor ancho de banda y de mayores contenidos con la mejor calidad, por ello, es la fibra óptica la mejor opción para cumplir con estos propósitos, ya que debido a sus características particulares para la transmisión de información, tiene la capacidad de soportar mayores tasas de bits suficientes para lograr proveer muchos canales de televisión de alta definición, streaming de alta calidad, juegos en línea de excelentes gráficos con gran fluidez, internet de hasta cientos de megabits por segundo (Mbps), entre otros.

Hoy en día, en México se presenta una gran actividad en el uso de las fibras ópticas, pues muchas de las empresas líderes en el mercado de servicios de telecomunicaciones y de Triple Play ¹, están empleando la fibra óptica en toda su estructura de red llegando hasta las casas de los clientes, mientras que los proveedores que tienen ya muchos años establecidos, están adaptando su infraestructura a la utilización de cables de fibra, no sólo en el backbone² [1], sino también en la red de acceso y directamente al hogar del suscriptor, retirando los cables coaxial y telefónico que solían usar y que ya no tienen la capacidad de competir con la fibra óptica en la provisión de mejor y mayor oferta de servicios a los clientes, propiciando así una mayor competencia en el mercado, lo que en un futuro cercano podría traducirse en menores tarifas y mayores anchos de banda para el consumidor, además de lograr una mayor cobertura y un mejor acceso universal ³ [2] para la población.

Una muestra de la importancia de la penetración de la fibra óptica en la población mexicana se muestra en una estadística proporcionada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en donde se menciona que el 8.5 % de la suscripciones de banda ancha en México en junio del 2015 [3], son por fibra óptica, que aunque este porcentaje está abajo del promedio de los países miembros de la OCDE, es mayor que los números de países desarrollados como Canadá con el 5.3 %, Francia con el 4.3% o Alemania con el 1.3 %.

1.1.2 Tendencias y perspectivas a futuro

Los avances en la ciencia ha dado la oportunidad de que la electrónica crezca a gran velocidad permitiendo la elaboración de dispositivos cada vez más minúsculos, y para ayudar todavía más en estos desarrollos, la fotónica y la física cuántica están abriendo un nuevo camino para otra revolución tecnológica, prueba de ello son los nuevos prototipos de dispositivos flexibles y translúcidos que son presentados en las exhibiciones de tecnología, así como medios de almacenamiento de información de mayor capacidad que hasta hace unos cuantos años eran inimaginables.

¹ Servicios de televisión, telefonía y datos por un mismo medio de transmisión

² Porción de cableado de telecomunicaciones que provee conexiones entre los gabinetes de telecomunicaciones, cuartos de equipos e instalaciones de entrada.

³ Acceso universal: Se entiende generalmente por acceso universal la posibilidad de que todos los miembros de una población tengan acceso a las instalaciones y servicios de la red de comunicación a disposición del público. Normalmente, esas prestaciones son proporcionadas en cabinas telefónicas, telecentros comunitarios y terminales comunitarias de acceso a Internet

Como la tendencia en las comunicaciones es transmitir cada vez más información, la fibra óptica es un medio de transmisión óptimo para implementarse hoy día y en el futuro inmediato, puesto que además de permitir tasas de transmisión de 100 gigabits por segundo (Gbps) para redes WDM [4] o de 1.2 Gbps en redes GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) [5], mayores que las de otros medios como el cable coaxial, par trenzado o enlaces de microondas, ofrece particularidades que no hay con el uso del cobre, como la inmunidad a interferencias electromagnéticas, menor dimensión y peso, mayor distancia por la baja atenuación, mayor seguridad de la información y riesgo nulo de corto circuito [6].

1.1.3 Redes PON y GPON

En las redes de comunicaciones, se pueden distinguir tres tipos de redes tomando en referencia sus alcances: una de ellas es la red de transporte que comprende los enlaces de larga distancia que forman el núcleo de la red de comunicaciones, otro tipo es la red de distribución abarcando los enlaces metropolitanos, y finalmente está la red de acceso que permite conectar a los usuarios finales con los proveedores de servicios y acceder así a las redes de mayor cobertura para lograr la interconexión de redes. Un ejemplo de la forma en que interactúan estas redes se puede ver en la Figura 1.

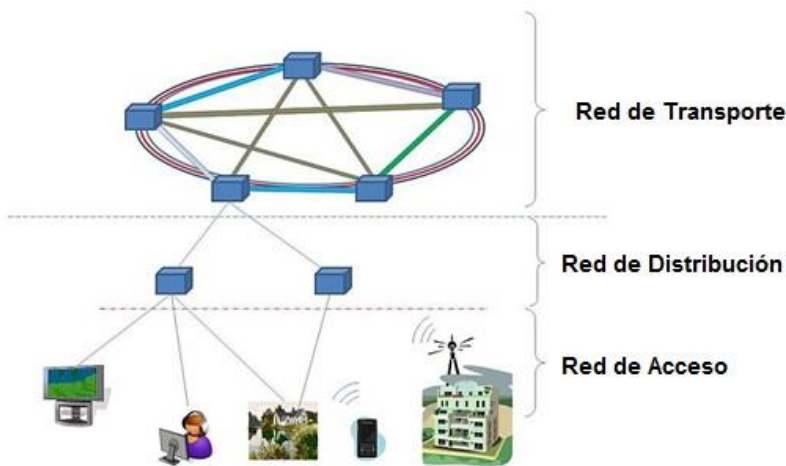


Figura 1. Estructura de una red [7]

Dentro de las redes de acceso se pueden distinguir diferentes tipos basados en el medio de transmisión utilizado o en los elementos de red implementados. Respecto al medio de transmisión, se pueden implementar por medio de fibra óptica FTTx (Fiber to the Home, Building, Cabinet, Antenna, etc.), de cobre ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), combinado HFC (Hybrid Fiber Coaxial) o vía inalámbrica; mientras que por los tipos de los elementos de red pueden ser activos AON (Active Optical Network) o pasivos PON (Passive Optical Network). Es este tipo de redes pasivas el objeto de interés de este trabajo dado sus características de implementación y su importancia para los proveedores de servicios de telecomunicaciones cuando un usuario contrata sus servicios multimedia y requieren conectarlos a su red.

Una red PON consiste básicamente de tres componentes: un OLT (Optical Line Termination) del lado del proveedor de servicios, un ONT (Optical Network Termination) en el extremo donde se conectan los usuarios, y entre los OLT y ONT está un acoplador óptico pasivo llamado Splitter o Divisor óptico, que se encarga de dividir la luz en un número determinado de flujos de salida de hasta 128 líneas (ver Figura 2). Las longitudes de onda empleadas son tres: 1310 [nm] para el flujo de subida (Upstream), 1490 [nm] para el flujo de bajada (Downstream) y 1550 [nm] para el transporte de video de RF (radiofrecuencia), aunque también es posible enviar el video mediante IPTV en forma de datos con un ancho de banda reservado [8]; el alcance de una red PON es de hasta 20 [km], ello debido a la ausencia de elementos activos que regeneren o amplifiquen la señal para contrarrestar la atenuación y pérdidas existentes desde el OLT hasta el ONT [9].

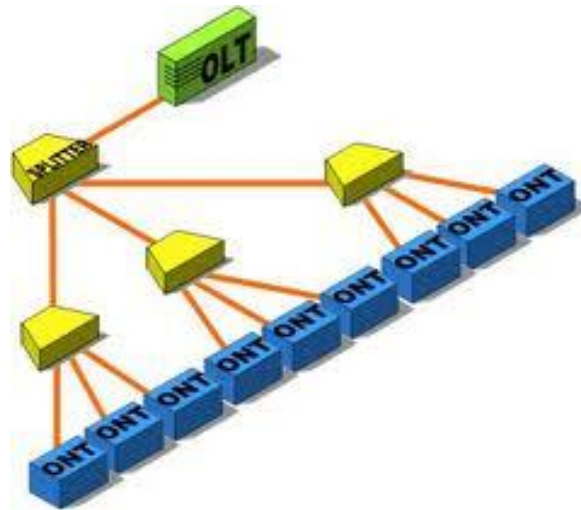


Figura 2. Elementos de una red PON [10]

Gracias a los avances en la tecnología de las comunicaciones ópticas fue posible aumentar la capacidad de transmisión en las redes PON hasta lograr superar los 1000 Mbps, es decir, 1 Gbps, por lo que se le denomina GPON, esta red tiene una capacidad mayor o igual de 1.244 Gbps de subida y 2.488 Gbps de bajada [5]. Para el caso de bajada a 1490 [nm], el OLT transmite la información en forma punto a multipunto, es decir, que todos los ONT que estén conectados a él recibirán la misma información, pero cada ONT sólo podrá procesar la información que le corresponda; para el flujo de subida a 1310 [nm], todos los ONT mandarán información al OLT en tiempos específicos fijados por el OLT para evitar colisiones [11].

1.2 Caracterización y medición de enlaces ópticos

1.2.1 Fibras ópticas monomodo y multimodo

La fibra óptica de manera genérica está formada por varios recubrimientos, unos específicos para transmitir la señal óptica y otros para la protección y resistencia mecánica, a continuación, se muestra en la Figura 3 la composición de una fibra óptica:

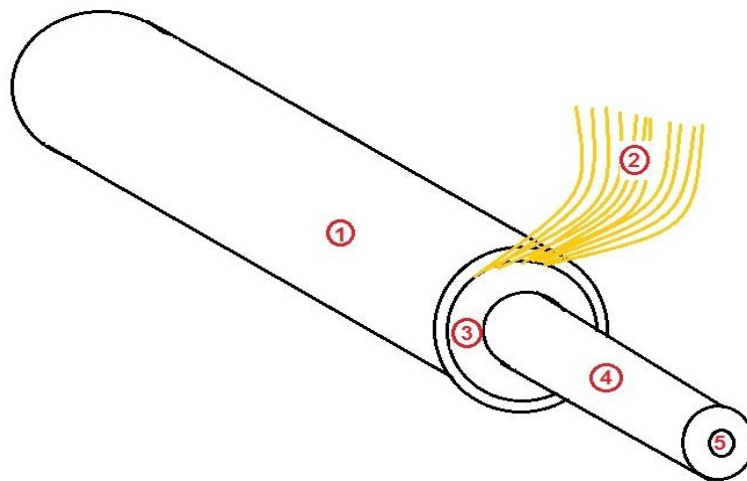


Figura 3. Estructura de una fibra óptica

1.- Recubrimiento: en ocasiones llamado jacket, es una cubierta de plástico que sirve para proteger a la fibra de la intemperie y otros elementos físicos que la puedan dañar.

2.- Hilos de Kevlar: provee a la fibra de resistencia mecánica, contra tensiones, presiones y manejo del cable, está fabricado de un polímero muy resistente. Suele colocarse entre el revestimiento y la cubierta externa.

3.- Capa de amortiguamiento: también llamado buffer o coating, esta capa está hecha de un plástico suave que rodea a la fibra, sirve para disminuir las pérdidas de luz en la fibra óptica provocadas por microcurvaturas; en la preparación de la fibra para una conexión es necesario retirar esta capa plástica.

4.- Revestimiento: también conocido como cladding, mide aproximadamente 125 μm y está compuesto con los mismos materiales del núcleo, ya sea vidrio o plástico transparente pero con impurezas para lograr un índice de refracción⁴ menor al del núcleo, esta diferencia en los índices de refracción es lo que hace posible la manifestación del fenómeno de reflexión total interna con el que se logra el confinamiento de la luz dentro del núcleo a lo largo de la fibra [4].

5.- Núcleo: filamento por el cual se propaga la señal óptica, típicamente en las fibras monomodo tiene un diámetro de 9 μm , en comunicaciones generalmente está fabricado con dióxido de silicio SiO_2 . [12]

La llamada longitud de onda de corte es el parámetro que determina si la fibra es monomodo SMF (Single-Mode Fiber) o multimodo MMF (Multi-Mode Fiber), ya que la fibra transmitirá un solo modo de propagación de la onda luminosa para aquellas longitudes de onda aplicadas que sean mayores a la de corte, esta última se calcula a partir del radio del núcleo, de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento, y de otras constantes [6]. Este efecto se puede notar de manera visual al incidir un haz de luz en un extremo y observando sobre una superficie la proyección de la luz al otro extremo: cuando se presenten varias zonas de brillo separadas por áreas oscuras se tratará de una fibra multimodo, mientras que cuando sólo se observe un punto luminoso, será el caso de una fibra monomodo.

⁴ Entiéndase por índice de refracción a la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre, entre la velocidad de propagación del rayo en determinado material.

1.2.2 Atenuación en los enlaces de fibra óptica

Como en todo enlace de comunicaciones, sin importar cuál sea el medio, se presentarán pérdidas de potencia durante la transmisión debidas a la interacción del haz de luz con el material por el cual se propaga. En la fibra óptica se presentan los casos de atenuación y pérdidas debidas a la disminución de potencia de la señal óptica por efectos intrínsecos y extrínsecos a lo largo del enlace.

Entre los factores intrínsecos principales está el esparcimiento Rayleigh, que básicamente es un efecto originado cuando el rayo de luz encuentra a su paso impurezas e imperfecciones que crean pequeñas reflexiones o refracciones dentro de la misma fibra; también es un factor intrínseco la presencia de microcurvaturas ya que la fibra no es totalmente lisa, generando cambios en los ángulos de propagación; otro factor intrínseco es.

En los que respecta a las causas extrínsecas, se presentan todas las que involucran conexiones entre fibras o entre fibra y equipo como los son los empalmes, acoplamientos y conectores. Los empalmes son en esencia uniones de dos tramos de fibra óptica para lograr mayor distancia del enlace, se hablará más de ellos en temas subsecuentes; los acoplamientos son las conexiones entre la fibra y los equipos de transmisión y medición, ellos presentan pérdidas por el cambio de medio de la luz que pasa de la fibra a la entrada del dispositivo, pero el cambio no es inmediato, ya que en esta unión hay una mínima capa de aire (interface aire-vidrio) con un índice de refracción diferente haciendo que parte de la luz se pierda en esta transición.

Mientras que los conectores son las piezas utilizadas para ajustar los extremos de fibras a los elementos de la red de enlaces. Los conectores se distinguen por su modo de enganchar y por la forma de la terminación del pulido: por modo de enganche se pueden distinguir el conector FC (de rosca, como el usado para las antenas de los televisores), el conector SC (cuadrado, con mecanismo push-pull) y el LC (tipo clip como el del cable RJ-45, parecido al SC pero de menor tamaño); en cuanto a la forma del pulido se encuentra el UPC (Ultra Physical Contact), simbolizado con color azul y de tipo aplanado, debido a que origina reflexiones es útil en conexiones de larga distancia porque en los equipos estas reflexiones serán despreciables, también se tiene el APC (Angled Physical Contact), de terminación angulada (un ángulo de 8°) referido con color verde, su forma inclinada permite desviar las reflexiones y que se pueda usar en cortas distancias sin dañar los equipos transmisores (ver Figuras 4, 5 y 6). Las pérdidas por retorno típicas con conectores UPC están alrededor de 45 [dB] y de 55[dB] para los APC [13].

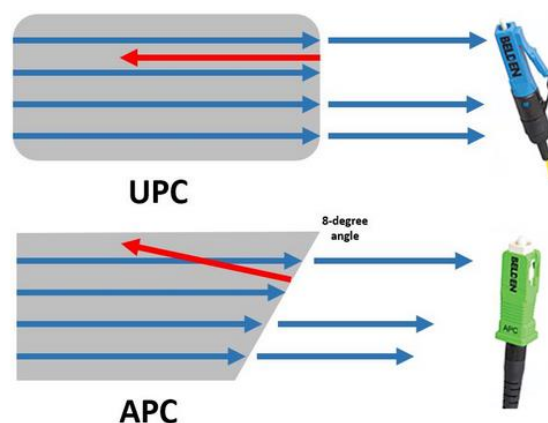


Figura 4. Pulidos UPC y APC, los rayos incidentes en azul y los reflejados en rojo [14]

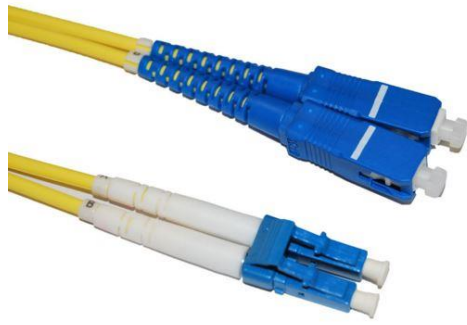


Figura 5. Conectores SC (arriba) y LC (abajo) pulido UPC [15]



Figura 6. Conector FC pulido APC [16]

1.2.3 Dispersión en fibras ópticas

En la transmisión de información por cualquier medio, es natural que los bits de información que se reciben tengan errores por imperfecciones a lo largo de la línea, pero estos problemas son más considerables en el caso de la fibra óptica cuando se transmite información a velocidades de decenas de Gbps en adelante. La dispersión es un fenómeno propio de las fibras que provoca que los pulsos de información transmitidos se ensanchen y no sea posible reconocer cuando acaba el pulso e inicia el siguiente limitando así el ancho de banda de la señal, además la atenuación del pulso al pasar por la fibra aumenta la probabilidad de error y el intervalo de operación se ve reducido ya que es posible que no cubra la sensibilidad del receptor. Existen tres clases de dispersión en las fibras ópticas: dispersión modal, dispersión cromática y dispersión por modos de polarización.

La dispersión modal, como su nombre lo indica, es la dispersión debida a que los modos de propagación de la fibra recorren diferentes caminos de distinta longitud, por lo que este tipo de dispersión sólo se presenta en las fibras multimodo [17], pero como estas fibras son poco utilizadas en los sistemas de comunicaciones modernos, no serán de utilidad en este trabajo.

La dispersión cromática es la dispersión debida a que, como el haz de luz enviado por la fuente no es monocromático y contiene varias longitudes de onda a pesar de su reducido ancho espectral, a cada longitud de onda le corresponde un índice de refracción propio, originando que los haces de diferente longitud de onda viajen a diferentes velocidades y por lo tanto, lleguen al final de la fibra con un retraso provocando que el pulso enviado se ensanche en el tiempo. Esto afecta principalmente a enlaces de larga distancia [17].

La dispersión por modos de polarización es aquella dispersión producida por la forma en que la luz viaja a través de la fibra, siendo así importantes las características físicas de la fibra, como lo es la birrefringencia⁵ [18] y el modo de polarización en que sea enviada la luz, de esta manera cuando las componentes de campo

⁵ La birrefringencia o doble refracción es una propiedad óptica de ciertos cuerpos que consiste en desdoblarse un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos: la primera de las dos direcciones sigue las leyes normales de la refracción; la otra tiene una velocidad y un índice de refracción variables.

eléctrico y magnético de la luz pasan por la fibra, la birrefringencia permite el paso continuo de una componente y dificulta el paso de la otra, por lo que la componente horizontal y vertical viajan a diferentes velocidades, generando así que haya un ensanchamiento del pulso de luz. Esto afecta principalmente a enlaces de larga distancia [4].

1.2.4 Empalmes

Los fabricantes de fibra óptica comúnmente venden sus fibras enrolladas en bobinas de 5 [km], lo cual no es suficiente para lograr alcanzar enlaces de decenas o cientos de kilómetros que sean requeridos, es por ello que se utilizan técnicas de unión o empalme de fibras para lograr un mayor alcance en los enlaces. Estos empalmes pueden ser de tres tipos principales: mecánicos, con adhesivos o por fusión; los dos primeros suelen ser los empalmes más sencillos y menos costosos, pero a cambio las pérdidas de potencia óptica son altas en comparación a las requeridas en un enlace de comunicaciones, por lo cual el empalme por fusión provee la mejor solución en el tendido de largas extensiones de fibra.

El empalme por fusión consiste en calentar los dos hilos que se unirán, y debido a sus características de manipulación semejantes al vidrio, se pueden fundir los dos extremos para crear un empalme uniforme y homogéneo, para lo cual es necesario que previamente los extremos estén preparados, es decir, que deben haber sido cortados de forma perpendicular sin imperfecciones como muescas, astillas o protuberancias, así como estar libres de polvo y suciedad. La técnica más utilizada para el empalme por fusión es por medio del arco eléctrico ya que, a comparación de otros métodos como el de fusión por láser o gas, permite un fácil control del calor y es más óptimo para el trabajo en campo; el método consiste en una descarga eléctrica entre dos electrodos con un ligero espacio entre ellos, espacio en que se colocan correctamente alineados los hilos a unir. En la figura 7 se puede apreciar una fibra con dos mangas en los dos empalmes que se le realizaron.

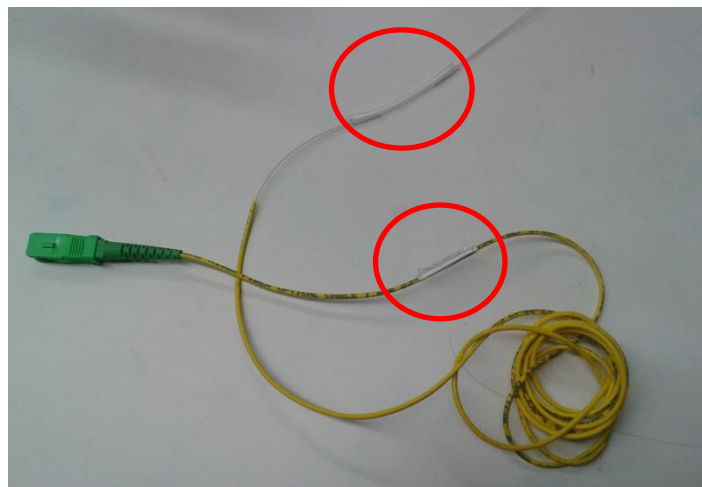


Figura 7. Fibra óptica con dos empalmes indicados en los círculos

1.3 Equipos de Medición y prueba

1.3.1 Empalmadora

Como se mencionó anteriormente, una parte importante para crear un enlace de fibra óptica de mayor alcance es poder unir varios segmentos de fibra con las menores pérdidas posibles para lograr mantener la comunicación entre el proveedor y el usuario, para esto es necesario el uso de un dispositivo preciso y práctico que permita la fusión de dos hilos, tal dispositivo es la empalmadora de fusión de arco eléctrico por alineación de núcleo o de revestimiento, que como su nombre lo indica, la alineación de las fibras se hace en base al núcleo o al revestimiento, siendo el primero el que permite que la fusión de lugar a las menores pérdidas.

Básicamente las empalmadoras presentan las funciones de empalme, precalentamiento y auto alineación, pero modelos más recientes tienen pantallas de visualización de las fibras, tanto de forma longitudinal como transversal para que el operador pueda verificar la correcta colocación de las fibras; también tienen la característica de desplegar una estimación de las pérdidas que se tienen por el empalme para saber si está dentro del intervalo aceptable y que eventualmente no se pierda la comunicación; además, para asegurar la resistencia del empalme es posible colocar un refuerzo consistente en una pequeña barra metálica dentro de un tubo de plástico (manga de empalme) que cubre la unión y parte de la fibra alrededor de esta, pero para quede firme y sujeto a la fibra las empalmadoras incluyen un horno de calentamiento que permite que el plástico se ajuste al hilo y el empalme resista a la intemperie y a esfuerzos mecánicos. En la Figura 8 se puede apreciar una empalmadora de última generación de la marca Sumitomo, cuyos electrodos pueden durar hasta 6000 empalmes [19].



Figura 8. Empalmadora de fusión por alineación de núcleo

1.3.2 Medidor de Potencia Óptica

Un medidor de potencia óptica (MPO) es un dispositivo encargado de medir de forma absoluta o relativa la potencia de la luz que se tiene en un extremo de la fibra cuando una fuente de luz estabilizada⁶ emite desde el otro extremo, pudiendo determinar así la atenuación de la luz provocada por la fibra monomodo o multimodo, o la atenuación total de un enlace, de la misma manera se pueden determinar las pérdidas por inserción de algún dispositivo que se introduzca al enlace, también puede ser útil para establecer la sensibilidad de equipo terminal a utilizar y elegir el que cumpla dicha sensibilidad o para considerar la potencia que está mandando la fuente o saber que se está perdiendo potencia en algún punto del enlace, para lo cual es de mayor utilidad el OTDR, del que se hablará en el siguiente subtema.

A grandes rasgos, un medidor de potencia consta de un foto-receptor y un procesador, el foto-receptor recibe la luz que sale de la fibra a una determinada longitud de onda y la señal, ahora eléctrica, pasa al procesador que despliega el valor de la potencia óptica absoluta en dBm o en mW, o en dB en el caso que se mida una potencia relativa, los MPO también poseen la opción de crear un referencia para poder calibrarlos o para medir pérdidas por inserción. Es necesario recordar que el MPO debe estar bien calibrado para disminuir los errores de medición y generar problemas de comunicación, además, tanto con el medidor de potencia como con cualquier otro equipo de medición con conectores ópticos debe cuidarse la limpieza de conectores para evitar obtener datos erróneos.

1.3.3 Reflectómetro óptico (OTDR)

Para lograr determinar con precisión la atenuación en el enlace de fibra, su longitud, las pérdidas por empalmes y conectores y la localización de estos, es posible usar un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), que se basa en el fenómeno de retro esparcimiento de Rayleigh para poder localizar dichos eventos (efectos y procesos detectables que modifican la forma de propagación de la luz dentro de la fibra). Básicamente, un OTDR está compuesto conforme el diagrama de la Figura 9.

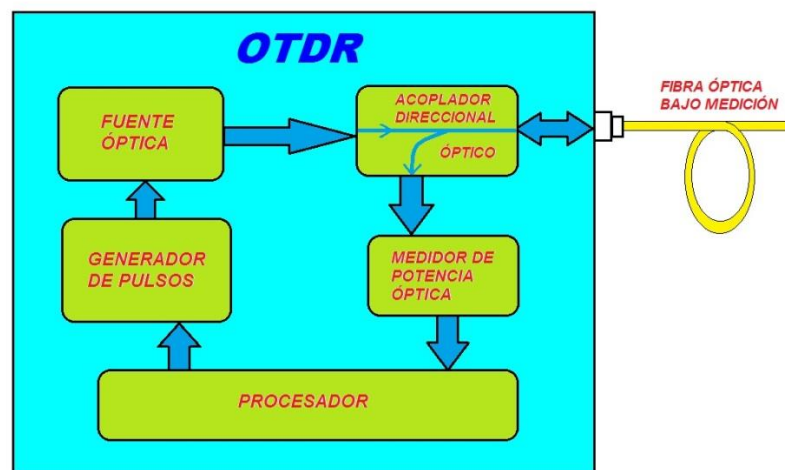


Figura 9. Diagrama de bloques de un OTDR

⁶ Una fuente de luz estabilizada es aquella fuente que emite un haz sin variaciones de potencia luego de haberla encendido y esperado un tiempo determinado por el fabricante indicado en las hojas de especificaciones.

Ahora se describirá brevemente el funcionamiento del OTDR:

Primero, el procesador ajusta al generador de pulsos en cuanto al ancho y duración, para crear un tren de pulsos eléctricos cortos que servirán para encender la fuente óptica, que por lo regular se trata de un láser, este tren de pulsos ópticos de alta potencia pasa por el acoplador direccional óptico con dirección a la fibra que se medirá. Mientras los pulsos de luz viajan a lo largo de la fibra, sufrirán retrodifusiones provocadas por el esparcimiento Rayleigh en una fibra óptica común y por irregularidades, ondulaciones, curvaturas, empalmes, conectores, agrietamientos, reflexiones en el extremo final, etc., lo cual se verá reflejado al resultar una pérdida de potencia luminosa, es decir, se presentará atenuación.

Luego, los pulsos regresan al OTDR pasando de nuevo por el acoplador direccional, el cual se encarga de que las reflexiones sean redireccionadas y no dañen al equipo, entonces pasan ahora al medidor de potencia óptica y finalmente al procesador, el cual permitirá al operador la interpretación de las mediciones mediante el despliegue de una gráfica de la atenuación en decibeles contra longitud del cable de fibra óptica.

Los OTDR permiten el ajuste de varios parámetros en la medición para poder hacer el mejor análisis según los requerimientos y características del enlace. Entre los parámetros variables están la longitud de onda que se seleccionará dependiendo de la ventana de transmisión utilizada en el enlace; el tiempo de adquisición que es el tiempo que dura el envío de los pulsos y entre mayor sea más resolución se tendrá en la gráfica; otro parámetro es el ancho del pulso, ya que un pulso más amplio permite un mayor alcance en distancia lo cual es útil en fibras largas⁷, pero esto involucra la disminución en la resolución haciendo más difícil la localización de eventos. En resumen, la mejor configuración para obtener mediciones correctas es la que más se requiera conforme a la estructura de la red de enlaces.

Es notable la utilidad que un OTDR ofrece en la caracterización de fibras ópticas, ayudando a la rápida localización de cualquier inconveniente en el enlace, es por ello que cuanto más precisa sea la localización de los eventos, así como el alcance en distancia de la medición y el “rango dinámico” (intervalo de potencia que puede medir un OTDR que va desde el punto de saturación hasta el piso del ruido), el precio del equipo se incrementará. En la Figura 10 se presenta un OTDR de la marca japonesa Anritsu, este equipo además de funcionar como un OTDR de gran resolución para localización de eventos, tiene la capacidad de hacer mediciones de potencia óptica funcionando como un MPO, también puede funcionar como un visualizador de fibra e incluso como una fuente de luz roja para la localización visual de fallas, es decir, es una completa herramienta para mantenimiento de instalaciones de fibra óptica.



Figura 10. OTDR Anritsu [20]

⁷ Generalmente los OTDR comerciales tienen un alcance de hasta 100 km



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA A LA CASA (FTTH)



2.1 Caracterización de elementos de red

Para la realización de este trabajo, se analizó una red de fibra óptica a la casa en la cual se encontraban presentes los elementos típicos de una red GPON, como lo son un OLT consistente en el transmisor multiservicios Huawei MA5600T y los ONT representados por las terminales receptoras GPON Huawei EchoLife HG8245 que estaban situados en cada una de las casas de los nuevos suscriptores, y entre estos elementos había dos divisores ópticos encargados de distribuir la señal de voz, video y datos hacia los clientes que lo solicitaron, el siguiente diagrama esquemático de la Figura 11 muestra la configuración de una sección de esta red FTTH.

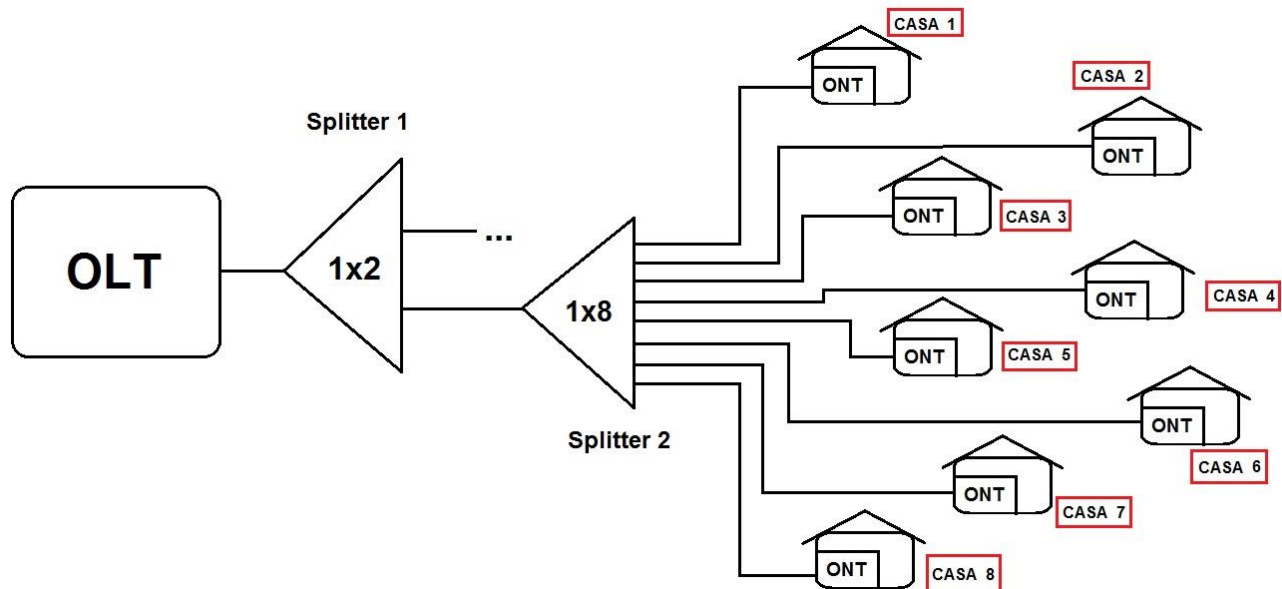


Figura 11. Red GPON de fibra a la casa

Para poner en marcha esta red, fue necesario caracterizar previamente los elementos que la componen para poder comprobar que el enlace pudiera operar de forma óptima, especialmente los dispositivos OLT que llevan la mayor carga de datos, así como los divisores ópticos que permiten mayor disponibilidad de conexiones; y en segunda etapa se examinó el desempeño de los ONT para cada casa en particular.

Primero, se obtuvieron los valores de pérdidas por inserción de los divisores ópticos, se iniciaron las mediciones con el divisor 1x2 (ver Figura 12) a tres diferentes longitudes de onda empleadas en las redes GPON, aunque el intervalo de operación dado por el fabricante es de 1260 a 1650 [nm], dicho divisor óptico está fabricado con fibra óptica que cumple con el estándar G.657A, que es la indicada para las redes de acceso por su capacidad de ser más flexibles sin presentar pérdidas [21]. Los registros de pérdidas por inserción se presentan en la Tabla 1.



Figura 12. Divisor óptico 1x2

Tabla 1. Pérdidas por inserción del divisor 1x2

Longitud de onda [nm]	Puerto de salida	IL (pérdidas por inserción) [dB]
1310	1	3.84
	2	3.92
1490	1	3.87
	2	3.96
1550	1	4.05
	2	4.03

Luego se recabaron los datos de pérdidas por inserción del segundo divisor 1x8 (ver Figura 13) también a tres longitudes de onda de 1310 [nm], 1490 [nm] y 1550 [nm], este divisor óptico posee al igual que el otro, fibra óptica G.657 apropiada para desplegar fibra a la casa por su mayor flexibilidad. Estos valores de pérdidas se registraron en la Tabla 2.

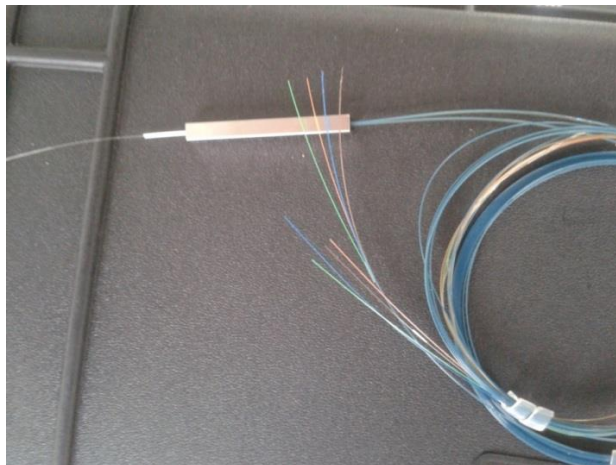


Figura 13. Divisor óptico 1x8

Tabla 2. Pérdidas por inserción del divisor óptico 1x2

Longitud de onda [nm]	Puerto de salida	IL (pérdidas por inserción) [dB]
1310	Azul-1	9.92
	Anaranjado-1	9.81
	Verde-1	9.94
	Café-1	9.93
	Azul-2	9.93
	Anaranjado-2	9.82
	Verde-2	9.85
	Café-2	9.89
1490	Azul-1	9.86
	Anaranjado-1	9.90
	Verde-1	9.95
	Café-1	9.95
	Azul-2	9.92
	Anaranjado-2	9.90
	Verde-2	9.95
	Café-2	9.87
1550	Azul-1	10.04
	Anaranjado-1	10.08
	Verde-1	10.15
	Café-1	10.21
	Azul-2	10.07
	Anaranjado-2	10.09
	Verde-2	10.09
	Café-2	10.09

Después de trabajar con los divisores, se midieron los valores de potencia de transmisión y recepción del OLT de la marca Huawei mostrado en la Figura 14, para comprobar que operaba de acuerdo con las especificaciones de su hoja de datos [22], algunos de las características más importantes del OLT se indican en la Tabla 3:



Figura 14. OLT Huawei [23]

Tabla 3. Especificaciones del puerto GPON de OLT

Parámetro	Especificaciones
Tasa de transmisión	Transmisión (Tx): 2.488 [Gbps] Recepción (Rx): 1.244 [Gbps]
Tipo de puerto	SC/PC
Tipo de cable	Fibra óptica monomodo
Longitud de onda central	Transmisión (Tx): 1490 [nm] Recepción (Rx): 1310 [nm]
Potencia óptica de transmisión	1.5 [dBm] a 5.0 [dBm]
Sensibilidad máxima de recepción	-28 [dBm]
Potencia óptica de sobrecarga	-8 [dBm]

Para la evaluación de la transmisión y sensibilidad se utilizó un medidor de potencia óptica conectado al OLT (la conexión de presenta en la Figura 15) para medir la potencia al transmitir en 1490 [nm] obteniéndose las mediciones del MPO, como la de la Figura 16, registradas en la Tabla 4, de las que se obtuvo su promedio y su desviación estándar.

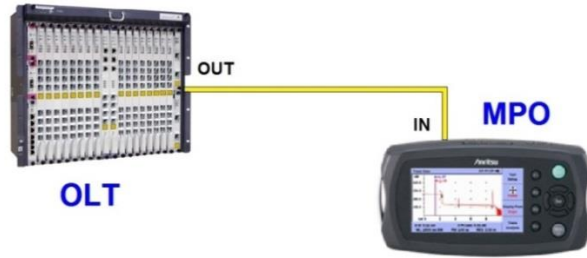


Figura 15. Configuración de conexiones para la prueba de Tx del OLT



Figura 16. Potencia de Tx (Downstream) del OLT a 1490 [nm]

Tabla 4. Potencias de transmisión del OLT

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.41
2	2.60
3	2.60
4	2.56
5	2.59
6	2.65
7	2.66
8	2.56
9	2.47
10	2.50
Promedio	2.56
Desviación	0.08

De esta manera, los datos recabados permitieron determinar con la ayuda de la Tabla 5, la correcta transmisión del OLT ya que la potencia transmitida promedio que se obtuvo más su desviación, está dentro del intervalo dado por el fabricante.

Tabla 5. Resultado de las mediciones de Tx en OLT

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
1.5 a 5 dBm	2.56 ± 0.08 dBm	PASA

De la misma manera se comprobó la operación del OLT en cuanto a la potencia de recepción conectando el equipo como se muestra en la Figura 17 y obteniendo las mediciones (ver Figura 18) expuestas dentro de la Tabla 6.



Figura 17. Configuración de conexiones para la prueba de Rx del OLT



Figura 18. Potencia de Rx (Upstream) del OLT a 1310 [nm]

Tabla 6. Potencias de recepción del OLT

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-12.06
2	-11.75
3	-12.02
4	-12.28
5	-12.33
6	-11.95
7	-11.99
8	-12.04
9	-12.04
10	-11.90
Promedio	-12.04
Desviación	0.17

Se estableció que el OLT funcionaba correctamente dado que el promedio de las potencias recibidas evaluadas, incluyendo su desviación, estaba dentro del intervalo en que opera el dispositivo, de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7. Resultado de las mediciones de Rx en OLT

Potencia de entrada permitida	Medición	Resultado
-28 a -8 dBm	-12.04 ± 0.17 dBm	PASA

2.1.1 Trazo de Red

Una vez que se verificó que el OLT y los divisores funcionaban normalmente, se empleó el OTDR para observar la traza generada y confirmar que la red se desempeñaba de manera correcta en la provisión de servicios multimedia de voz, video y datos, así que la configuración general de conexiones de la red fue la que se observa en la Figura 19.

Para realizar la prueba el OTDR se configuró para medir en 1550 [nm], con un alcance de 2.5 [km], un tiempo de adquisición de 60 [s], una resolución de 0.10 [m] y un ancho de pulso de 10 [ns], dando como resultado el reporte de la Figura 20:

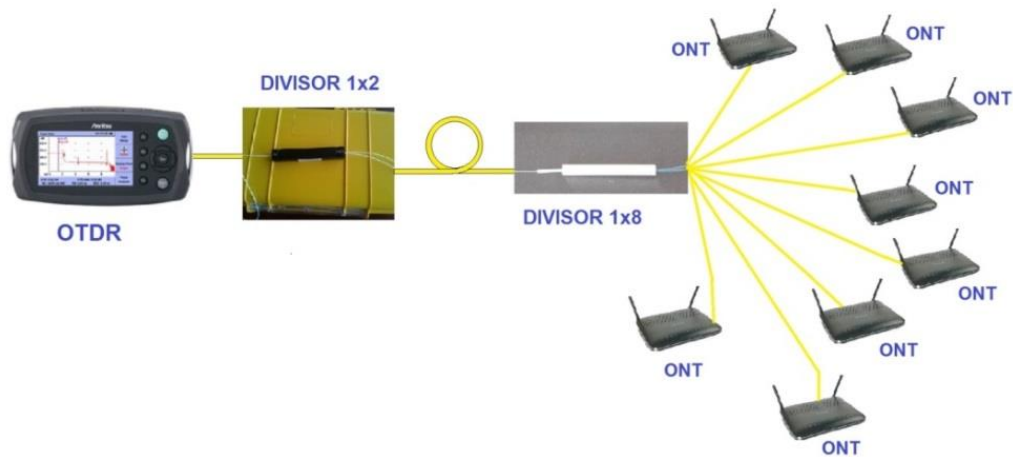


Figura 19. Configuración de conexión para el OTDR

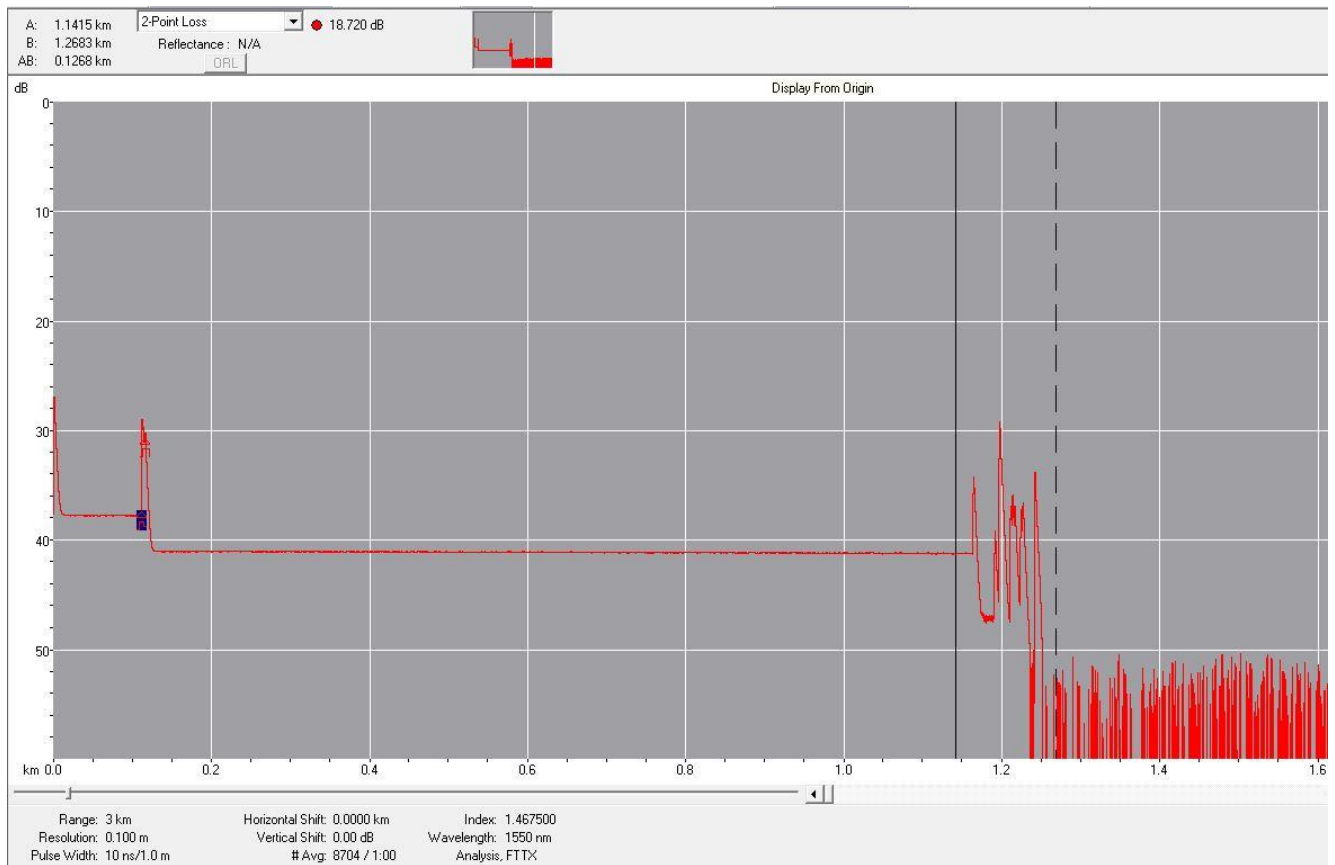


Figura 20. Traza del OTDR de la red GPON

Haciendo un acercamiento al primer evento que se encontró a los 111 [m], que se observa en la Figura 21, fue posible notar la presencia de eventos reflectivos correspondientes a los conectores UPC del primer divisor 1x2, que además generó una pérdida de la mitad de la potencia, es decir, de alrededor de 3 [dB], el cual se comprueba por el valor mostrado de pérdidas entre los puntos A y B que fue de 3.234 [dB], valor que incluye las pérdidas por conectores.

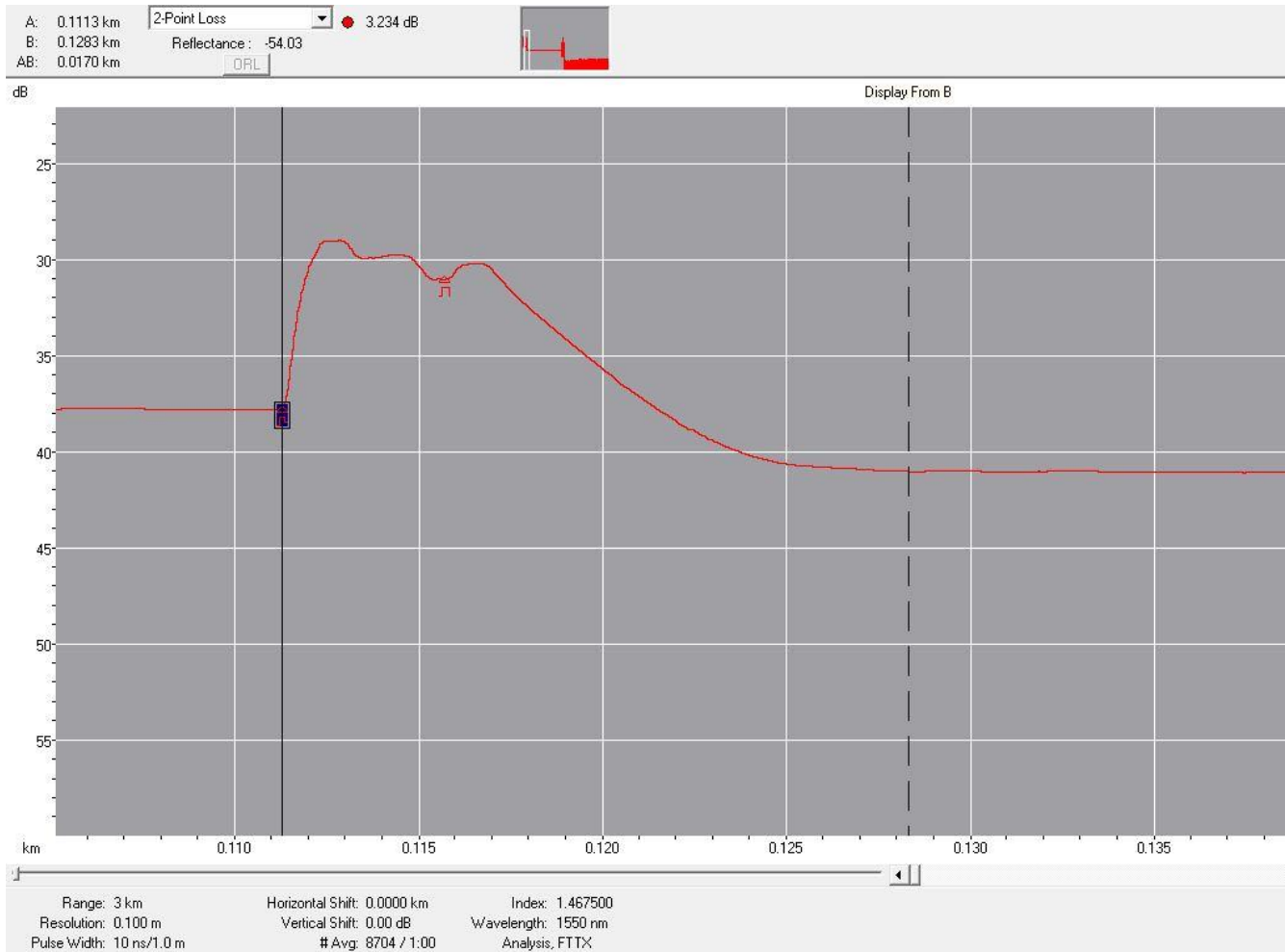


Figura 21. Primer evento reflectivo originado por el primer divisor 1x2

En el siguiente segmento de eventos, mostrado por la Figura 22, fue posible ver cómo después del evento reflectivo por conectores a 1.1634 [km], hubo otra caída de potencia debido a la presencia del segundo divisor 1x8, provocando que la caída fuera alrededor de 9 [dB] y que se empezara a detectar el piso del ruido, pero por efectos de la reflexión al final de cada una de las ocho fibras fue posible notar que hay ocho eventos en diferentes distancias, los cuales corresponden a cada una de las casas en las que se instalaron los servicios de comunicaciones residenciales. Con esta traza se pudo constatar que la operación de la red era la adecuada para todos los suscriptores que solicitaron los servicios correspondientes.

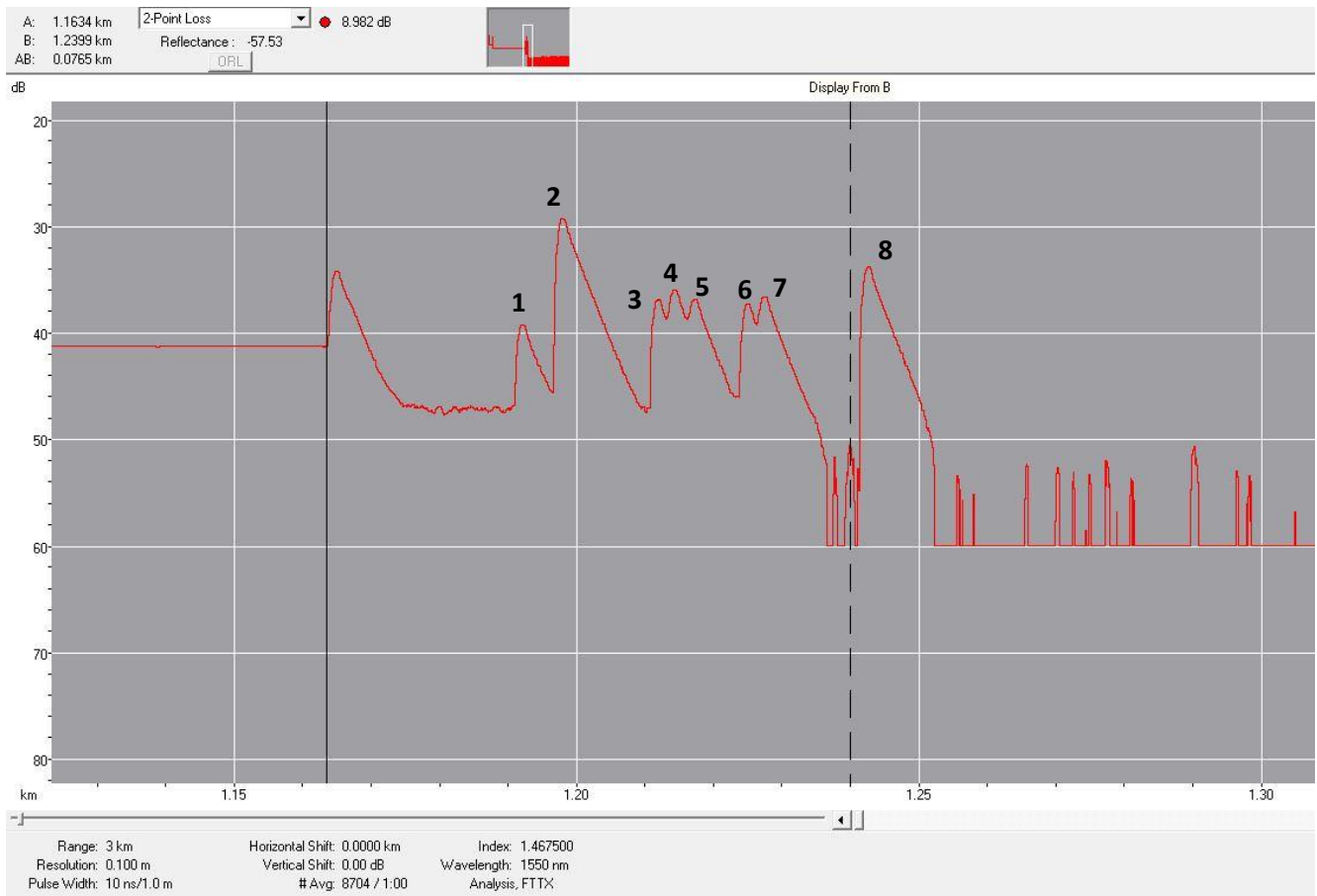


Figura 22. Presencia del segundo divisor y de los ocho hogares de los usuarios

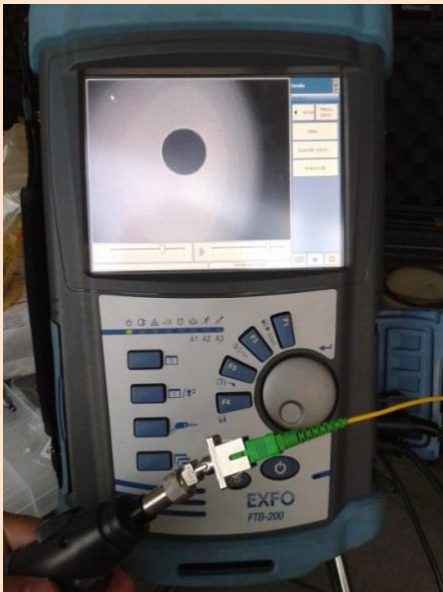

2.2 Casa 1

2.2.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.2.1.1 Caracterización de fibra óptica

Durante la visita al primer domicilio en el que hizo la primera instalación, fue empleado el siguiente material enlistado en la Tabla 8, tanto para atender la parte de instalación como la parte de corrección de fallas que se presentaran durante y después de la instalación:

Tabla 8. Equipo requerido para la instalación

Descripción	Equipo	Función
Plataforma de pruebas ópticas EXFO FTB-200 con microscopio		Revisión visual de fibra y conectores que se ensamblarán con los equipos
Empalmadora SUMITOMO Quantum Type-Q101 de fusión de arco eléctrico por núcleo		Empalme de fibra óptica y colocación de manga de empalme

<p>MPO ANRITSU MT9090A</p>		<p>Medición de potencia óptica de Transmisión y Recepción</p>
<p>Cortadora de fibra óptica de un paso SUMITOMO</p>		<p>Corte de precisión de fibra óptica</p>
<p>Pinzas SUMITOMO para desnudar fibra óptica</p>		<p>Corte y desnudamiento de fibra óptica</p>
<p>Localizador visual de fallas (VFL) SUMITOMO</p>		<p>Localización visual de pérdidas de potencia en fibra a corta distancia</p>



Tras el despliegue del enlace en el hogar del suscriptor, se revisaron los conectores dispuestos luego de haber realizado los empalmes requeridos, entonces, conforme a la configuración de conexiones de la Figura 23, se obtuvo en el microscopio la Figura 24, que deja ver que el conector no estaba totalmente libre de suciedad e imperfecciones.

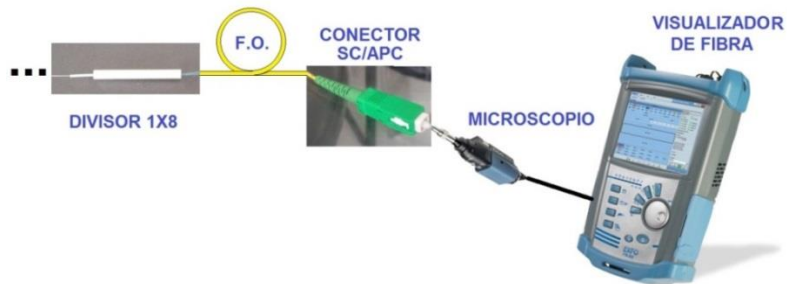


Figura 23. Configuración de conexiones para visualización de fibra

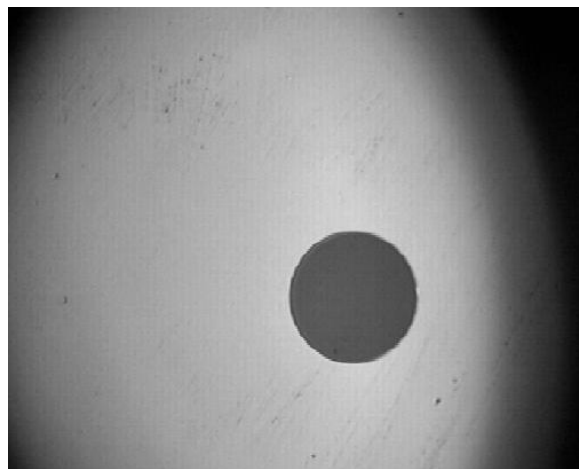


Figura 24. Conector para ONT de casa 1 con algunas partículas de suciedad

Como este conector no pasaba la inspección de limpieza, fue necesario resolver el problema, cuya resolución se encuentra en el punto 2.2.3.1, una vez que se solucionó el inconveniente se continuó con las siguientes pruebas.

Luego de la revisión de conectores, se procedió con la comprobación del funcionamiento del ONT que se presenta en la Figura 25 de acuerdo a las especificaciones de su hoja de datos [24], algunas de las características más importantes se pueden observar en la Tabla 9.



Figura 25. ONT Huawei

Tabla 9. Especificaciones del puerto GPON de ONT Huawei EchoLife HG8245

Parámetro	Especificaciones
Tasa de transmisión	Recepción (Rx): 2.488 [Gbps] Transmisión (Tx): 1.244 [Gbps]
Tipo de puerto	SC/APC
Tipo de cable	Fibra óptica monomodo
Máximo alcance	20 [km]
Longitud de onda central	Transmisión (Tx): 1310 [nm] Recepción (Rx): 1490 [nm]
Potencia óptica de transmisión	0.5 [dBm] a 5.0 [dBm]
Sensibilidad máxima de recepción	-27 [dBm]
Potencia óptica de sobrecarga	-8 [dBm]

Así, para medir la potencia se empleó un medidor de potencia especial para este tipo de redes, el cual permite que la comunicación sea ininterrumpida y se midan las potencias reales, este dispositivo es un MPO PON y se conectó como se presenta en la Figura 26, del que se recabaron las potencias (ver Figura 27) registradas en la Tabla 10.

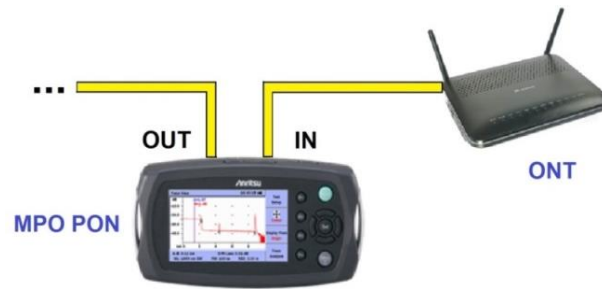


Figura 26. Configuración de conexiones para medir transmisión en ONT



Figura 27. Potencia de Tx (Upstream) del ONT en casa 1 a 1310 [nm]

Tabla 10. Potencias de transmisión del ONT de la casa 1

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.71
2	2.65
3	2.66
4	2.69
5	2.73
6	2.62
7	2.71
8	2.80
9	2.66
10	2.72
Promedio	2.70
Desviación	0.05

De acuerdo a la media de estos valores adicionando su desviación, se pudo determinar que el ONT pasaba la prueba de transmisión, conforme lo mostrado por la Tabla 11.

Tabla 11. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 1

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.70 ± 0.05	PASA

Mientras que para la recepción se realizaron las conexiones de la Figura 28, con las que se pudieron obtener mediciones como la de la Figura 29, estos datos se registraron en la Tabla 12 que se muestra a continuación.



Figura 28. Configuración de conexiones para medir recepción en ONT



Figura 29. Potencia de Rx (Downstream) del ONT en casa 1 a 1490 [nm]

Tabla 12. Potencias de recepción del ONT de la casa 1

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.98
2	-12.14
3	-11.84
4	-11.87

5	-11.98
6	-11.91
7	-12.20
8	-11.99
9	-12.07
10	-12.02
Promedio	-12.00
Desviación	0.11

Por los valores recuperados de recepción en promedio y su desviación estándar, se pudo validar la correcta recepción del ONT de acuerdo a lo mostrado por la Tabla 13, y del mismo modo, se confirmó el buen funcionamiento en general del ONT, con lo que se pudo continuar con la prueba de activación de servicios.

Tabla 13. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 1

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-12.00 ± 0.11	PASA

2.2.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.2.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

Después se realizó la prueba de activación de servicios con la ayuda de la Tabla 14 a partir de la hoja de especificaciones del ONT [24], dicha prueba consistió en verificar que los indicadores luminosos del ONT encendieran de acuerdo al estado de la conexión.

Tabla 14. Indicaciones de los LEDs del ONT

LED	Descripción	Estado	Descripción
POWER	Suministro de energía	Verde, siempre encendido	El dispositivo está encendido
		Anaranjado, siempre encendido	La batería de respaldo está funcionando
		Apagado	El suministro de energía está desconectado
LAN1-LAN4	Puertos Ethernet	Siempre encendido	La conexión Ethernet está en estado normal
		Parpadeando	Se está transmitiendo información por el puerto
		Apagado	Conexión Ethernet no establecida

TEL1-TEL2		Puertos telefónicos de voz		Siempre encendido	La conexión con el servidor de voz está establecida	
				Parpadeo rápido	La conexión está establecida y el teléfono está descolgado o en llamada entrante	
				Parpadeo lento	El ONT se está registrando con el servidor de voz	
				Apagado	La conexión con el servidor no está establecida	
WLAN		LAN inalámbrica		Siempre encendido	La función de red inalámbrica LAN está habilitada	
				Parpadeando	Se está transmitiendo información por el puerto WLAN	
				Apagado	La función de red inalámbrica LAN está deshabilitada	
PON	LOS	Autenticación	Conexión	Apagado	Apagado	El ONT está deshabilitado por el OLT
				Parpadeo rápido	Apagado	el ONT está intentando establecer una conexión con el OLT
				Siempre encendido	Apagado	La conexión entre el ONT y el OLT está establecida
				Apagado	Parpadeo lento	La potencia recibida por el ONT es menor que la sensibilidad
				Parpadeo rápido	Parpadeo rápido	El OLT detecta que el dispositivo es un ONT no autorizado

Entonces, para confirmar que los servicios funcionaran adecuadamente, se estableció la Tabla 15 de acciones para la evaluación de servicios, en la que se observa que el establecimiento de la conexión fue exitoso, y que los servicios de televisión, teléfono e internet eran funcionales.

Tabla 15. Valoración del estado de los servicios para la casa 1

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

De esta manera se dio por concluida y correcta la instalación del enlace de fibra óptica y la operación de los servicios multimedia en esta casa.

2.2.3 Resolución de fallas

2.2.3.1 Resolución de fallas de capa física

Debido a la presencia de suciedad en el conector, seguramente el enlace hubiera presentado inconvenientes como la disminución de las potencias recibidas y transmitidas, por lo que se procedió a hacer la limpieza de dicho conector para que pudiera pasar la inspección, resultando la imagen de microscopio de la Figura 30.

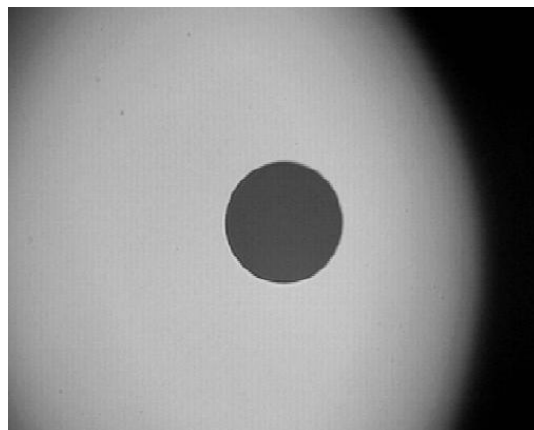


Figura 30. Conector para ONT de casa 1 limpio

Una vez lograda la comprobación del buen estado del conector, fue posible proseguir a realizar las mediciones de potencia que recibía y transmitía el ONT.

2.2.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

Luego de haber solucionado el asunto de la suciedad del conector, ya no se presentaron más inconvenientes en la etapa de activación de servicios.

2.2.4 Conclusiones

Con la implementación del enlace en la primera casa, fue claro que es importante percatarse que el estado de los conectores sea el adecuado, sin suciedad ni daños que pudieran disminuir la potencia de recepción del ONT y terminar en pruebas de activación no aceptables que pudieron ser exitosas con sólo limpiar bien el conector de manera anticipada, además de ahorrar tiempo evitando hacer dobles pruebas.

2.3 Casa 2

2.3.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.3.1.1 Caracterización de fibra óptica

Para hacer la instalación en la segunda casa, el equipo y herramienta empleados fueron los mismos que en la casa 1, los cuales se mostraron en la Tabla 8. Entonces, luego de hacer la instalación de fibra necesaria al hogar del suscriptor, se inició la revisión del estado de conectores empleando la misma conexión usada en la casa 1 (ver Figura 23), y resultando la imagen al microscopio que se muestra por la Figura 31.

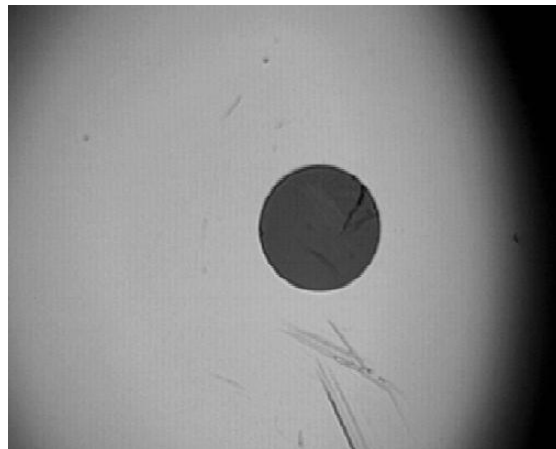


Figura 31. Conector para ONT de la casa 2 muy rayado a pesar de la limpieza

Como este conector presentaba muchas imperfecciones y aún después de la limpieza se mostraba dañado, fue necesario resolverse este problema, la resolución se muestra en el punto 2.3.3.1. Luego de solucionado el problema, se continuó con las siguientes pruebas y mediciones.

Una vez de terminada la revisión de los conectores se inició la comprobación del funcionamiento del ONT presentado en la casa 1 (ver Figura 25), tanto en transmisión como en recepción. Para los datos de potencia de transmisión se utilizó una configuración de conexiones como la empleada en la casa 1 (ver Figura 26), obteniendo las mediciones de la Tabla 16.

Tabla 16. Potencias de transmisión del ONT de la casa 2

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.65
2	2.79
3	2.74
4	2.67

5	2.80
6	2.72
7	2.77
8	2.67
9	2.81
10	2.81
Promedio	2.74
Desviación	0.06

Considerando que la potencia transmitida promedio más su desviación estaba en el rango de operación del ONT, como lo muestra la Tabla 17, se estableció que pasó la prueba.

Tabla 17. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 2

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.74 ± 0.06	PASA

Por el lado de la recepción, se conectaron los equipos de manera idéntica que la casa 1 (ver Figura 28), con dicha conexión, se registraron los datos presentados por la Tabla 18.

Tabla 18. Potencias de recepción del ONT de la casa 2

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-12.14
2	-12.02
3	-11.97
4	-11.97
5	-12.13
6	-11.98
7	-11.82
8	-11.90
9	-11.89
10	-11.99
Promedio	-11.98
Desviación	0.10

Del mismo modo que en transmisión, en la recepción la media de las mediciones incluida la desviación se encuentran en el intervalo de trabajo del ONT, como está indicado en la Tabla 19, por ello se pudo definir que el equipo se podría desempeñar adecuadamente.

Tabla 19. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 2

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-11.98 ± 0.10	PASA

2.3.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.3.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

En la etapa de activación de servicios, en conformidad con la Tabla 14 de indicaciones de los LED del ONT, se lograron hacer los correspondientes veredictos para las actividades de revisión indicados en la Tabla 20. Como todos fueron aceptables, fue posible concluir la instalación en este hogar.

Tabla 20. Valoración del estado de los servicios para la casa 2

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.3.3 Resolución de fallas

2.3.3.1 Resolución de fallas de capa física

En este caso, el conector empleado presentó ralladuras que no desaparecieron con la limpieza, por lo que tal conector estaba dañado y la mejor solución fue hacer un nuevo empalme (ver Figura 32) y utilizar un nuevo conector, el cual tenía el aspecto en el microscopio exhibido en la Figura 33. Con el nuevo conector en buen estado y limpio se consigue asegurar la confiabilidad de un buen desempeño de la instalación FTTH.

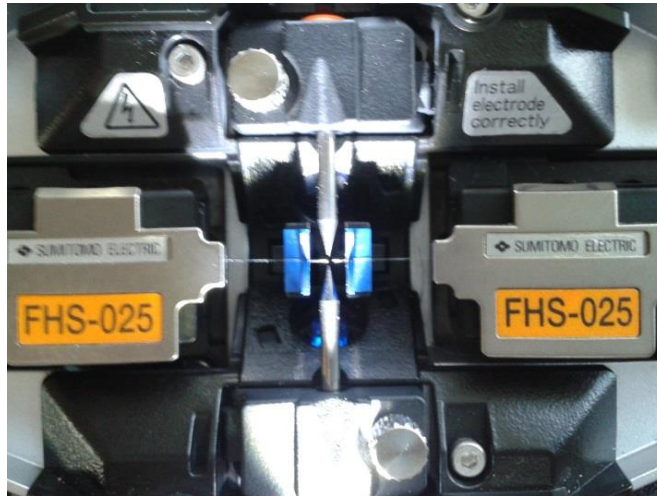


Figura 32. Preparación de empalme para el nuevo conector



Figura 33. Nuevo conector del ONT de la casa 2 limpio

2.3.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

No hubo inconvenientes al realizar la activación de los servicios de voz, video y datos.

2.3.4 Conclusiones

Como en el caso de la primera casa, el estado del conector es muy importante para tener un buen enlace, y como los defectos que presentaba no eran fácilmente corregibles, la mejor opción fue optar por hacer un nuevo empalme para disponer de un nuevo conector en buenas condiciones, ya que tomada esta acción, el proceso de comprobación transcurre de manera adecuada.

2.4 Casa 3

2.4.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.4.1.1 Caracterización de fibra óptica

Para el despliegue del enlace en la tercera casa, el material requerido fue el mismo que el de las anteriores casas (ver Tabla 8). Tras instalar la fibra óptica en el hogar del cliente, se prosiguió con el chequeo de los conectores conforme a las conexiones también utilizadas en las casas anteriores (ver Figura 23), obteniendo la imagen del microscopio de la Figura 34.

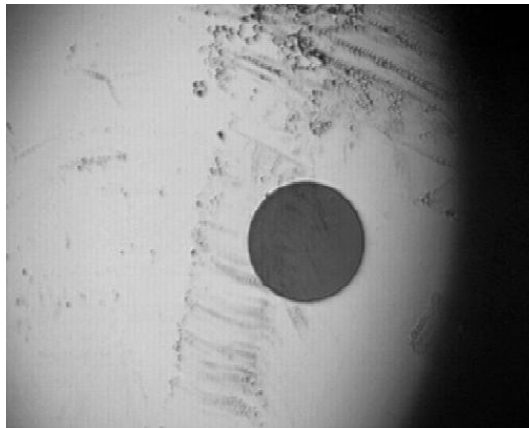


Figura 34. Conector para ONT de la casa 3 con imperfecciones

Como se puede apreciar, el conector presenta rastros de suciedad que repercutirían en el flujo de información, por ello, en el subtema 2.4.3.1 se detalla el tratamiento de esta situación.

Una vez terminada esta inspección, se continuó con la valoración del desempeño del ONT, para lo cual, de acuerdo a la misma configuración de conexiones de las casas anteriores (ver figura 26), se obtuvieron primero mediciones de potencia de transmisión enlistadas dentro de la Tabla 21, con las que fue posible determinar que en promedio se estaba recibiendo dentro del bloque de potencias aceptables, conforme a la Tabla 22.

Tabla 21. Potencias de transmisión del ONT de la casa 3

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.66
2	2.83
3	2.68
4	2.83
5	2.72
6	2.72

7	2.73
8	2.79
9	2.67
10	2.84
Promedio	2.75
Desviación	0.07

Tabla 22. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 3

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.75 ± 0.07	PASA

Después, se dispusieron los equipos de forma semejante que las ocasiones pasadas para medir la potencia recibida por el ONT, estos valores medidos están plasmados en la Tabla 23.

Tabla 23. Potencias de recepción del ONT de la casa 3

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.98
2	-11.84
3	-11.87
4	-12.06
5	-12.09
6	-11.98
7	-12.07
8	-11.93
9	-12.02
10	-12.06
Promedio	-11.99
Desviación	0.09

Una vez aprobados los resultados de los valores de potencia recibida, de acuerdo con la Tabla 24, y también aprobados los de transmisión, se logró proseguir con la etapa de activación de los servicios.

Tabla 24. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 3

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-11.99 ± 0.09	PASA

2.4.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.4.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

Para confirmar que los servicios funcionaran adecuadamente y basados en la Tabla 14, se estableció de igual manera que los hogares anteriores, la siguiente lista de evaluación de servicios presentada por la Tabla 25. Con estos resultados, se finalizó con éxito la implementación del enlace.

Tabla 25. Valoración del estado de los servicios para la casa 3

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.4.3 Resolución de fallas

2.4.3.1 Resolución de fallas de capa física

Con la primera inspección del microscopio, el conector aparentaba estar dañado además de sucio, pero con una mejor limpieza se comprobó en una segunda revisión que se encontraba en buen estado y fue posible proseguir las mediciones, prueba de esto se muestra en la Figura 35.

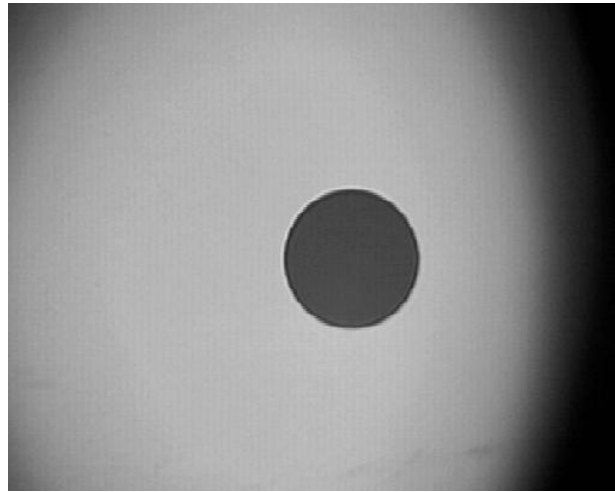


Figura 35. Conector para ONT de la casa 3 libre de suciedad

2.4.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

No se presentaron problemas en relación a la activación de los servicios multimedia.

2.4.4 Conclusiones

De la misma manera que en los dos hogares anteriores, la ausencia de suciedad y polvo en los conectores es un aspecto muy importante que revisar, tanto así que considero que es una prueba que debe ser obligatoria para cualquier compañía que preste servicios de instalación de fibra óptica al hogar para asegurar un servicio de calidad menos propenso a presentar fallas.

2.5 Casa 4

2.5.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.5.1.1 Caracterización de fibra óptica

En la cuarta casa, de la misma manera fue requerido el material y equipo de las anteriores ocasiones, el cual se puede consultar en la Tabla 8. Después de hacer los empalmes, cortes y ajustes requeridos, se inició la revisión de conectores con la conexión de equipos de las anteriores casas, lo que permitió ver en el microscopio la imagen mostrada en la Figura 36. Como se puede ver, el conector se encuentra limpio y en buen estado, lo cual permitió seguir con las pruebas de potencia.

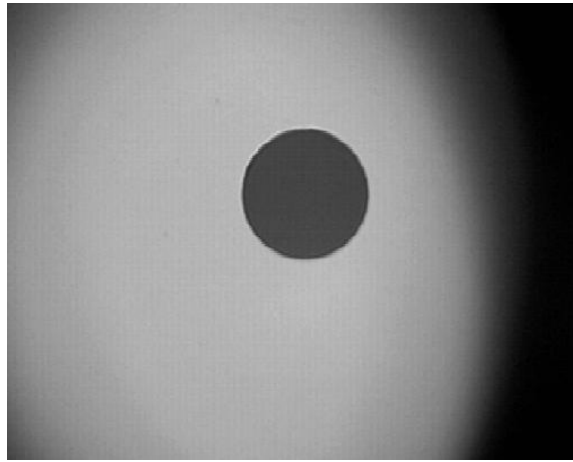


Figura 36. Conector para ONT de la casa 4 correcto y limpio

En la parte de transmisión, se conectaron el MPO PON y el ONT del mismo modo en que se realizó en las viviendas de los anteriores clientes, y a partir de esas uniones se recabaron los valores de potencia transmitida de la Tabla 26. A partir de ella se determinó aceptable la media de las potencias porque entraban en el rango de funcionamiento del ONT (ver Tabla 27).

Tabla 26. Potencias de transmisión del ONT de la casa 4

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.69
2	2.72
3	2.72
4	2.69
5	2.82
6	2.71
7	2.84
8	2.80
9	2.74
10	2.74
Promedio	2.75
Desviación	0.05

Tabla 27. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 4

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.75 ± 0.05	PASA

Mientras que en recepción también se emplearon las conexiones correspondientes de las casas anteriores, tales potencias se exponen en la Tabla 28. Con el uso de esos datos se concluyó que el ONT podía desempeñar un buen flujo de información recibida (ver Tabla 29), por lo tanto se siguió con la etapa de activación de servicios.

Tabla 28. Potencias de recepción del ONT de la casa 4

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.87
2	-11.90
3	-11.99
4	-11.93
5	-12.12
6	-11.91
7	-11.87
8	-11.86
9	-11.82
10	-12.02
Promedio	-11.93
Desviación	0.09

Tabla 29. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 4

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-11.93 ± 0.09	PASA

2.5.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.5.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

Revisando los indicadores LED del ONT con base en su hoja de datos, como se hizo en pasadas ocasiones, se establecieron veredictos para la activación de los servicios ofrecidos al cliente, estas resoluciones están mostradas en la Tabla 30 y determinaron que el enlace del OLT con el ONT está correctamente establecido.

Tabla 30. Valoración del estado de los servicios para la casa 4

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.5.3 Resolución de fallas

2.5.3.1 Resolución de fallas de capa física

No hubo contratiempos en el despliegue del enlace relacionados con la capa física

2.5.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

Durante la activación de los servicios no se presentaron inconvenientes.

2.5.4 Conclusiones

Al parecer, las mayores incidencias que pueden afectar al enlace son por conectores que no están en estado óptimo, puesto que al pasar exitosamente la primera revisión de suciedad y daños en los conectores, la instalación se realizó sin mayor problema, aunque una limpieza o cambio de conectores no podría ser suficientes en algún caso en el que la integridad de la fibra esté comprometida, como en una rotura total, o en alguna falla de software o hardware del ONT o del mismo OLT.

2.6 Casa 5

2.6.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.6.1.1 Caracterización de fibra óptica

Una vez terminada la instalación, se procedió a iniciar la inspección de integridad de conectores ópticos, poniendo el equipo dispuesto de forma idéntica a las anteriores inspecciones de conectores, resultando la imagen en el microscopio de la Figura 37.



Figura 37. Conector para ONT de la casa 5 limpio

Como el conector estaba en buen estado, se inició la medición de la transmisión y recepción del ONT, primero, se conectaron los equipos conforme a la configuración para recepción empleada en los demás hogares y se obtuvieron las potencias de salida enlistadas en la Tabla 31. Una vez calculado el promedio y desviación estándar, se aprobó la fase de envío de potencia como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 31. Potencias de transmisión del ONT de la casa 5

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.73
2	2.81
3	2.85
4	2.69
5	2.79
6	2.68
7	2.79
8	2.68
9	2.72
10	2.85
Promedio	2.76
Desviación	0.07

Tabla 32. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 5

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.76 ± 0.07	PASA

Respecto a la potencia de entrada, los valores medidos se registraron en la Tabla 33 con el equipo dispuesto para medir potencia recibida, como se había hecho previamente, de este modo se encontró que la media de los registros y la desviación se encontraban en el rango de funcionamiento del ONT, de acuerdo a la Tabla 34. Así fue posible continuar a la etapa de activación de servicios.

Tabla 33. Potencias de recepción del ONT de la casa 5

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.98
2	-12.10
3	-12.13
4	-11.88
5	-11.93
6	-12.10
7	-11.89
8	-11.82
9	-12.14
10	-12.10
Promedio	-12.01
Desviación	0.12

Tabla 34. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 5

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-12.01 ± 0.12	PASA

2.6.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.6.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

De acuerdo con las condiciones de encendido y apagado de los LEDs referidas de la hoja de datos del ONT [24], se completó la Tabla 35 con los veredictos de la revisiones de los servicios.

Tabla 35. Valoración del estado de los servicios para la casa 5

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON parpadeando rápido y LOS parpadeando rápido	FALLA
Televisión en funcionamiento	LAN1 apagado	FALLA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 apagado	FALLA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN apagado	FALLA

Como no se pasaron las pruebas, fue necesario atender este problema, que se resolvió un poco más adelante en el subtema 2.6.3.2.

2.6.3 Resolución de fallas

2.6.3.1 Resolución de fallas de capa física

No hubo incidentes en la capa física que comprometieran la integridad de la fibra o de los conectores, que pudieran afectar al enlace.

2.6.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

Luego de que en la capa física no hubo problemas y en la activación de servicios no se pasaron las pruebas, el problema del enlace fue atribuido al ONT, dado que los indicadores LED advertían que el OLT detectaba que el ONT no era un dispositivo válido, así que con la utilización de otro equipo terminal se retomaron las pruebas de activación de servicios originando la Tabla 36, en la que entonces si se logró tener resultados favorables. De este modo se logró finalizar la implementación del enlace en la casa del nuevo cliente.

Tabla 36. Valoración del estado de los servicios para la casa 5 con nuevo ONT

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.6.4 Conclusiones

En esta casa se presentó uno de los problemas que parecerían menos comunes, el cual se trató de algún defecto de fábrica en el funcionamiento del ONT, dado que al intentar con otro dispositivo no hubo contratiempos, además de que las pruebas de transmisión y recepción fueron aceptadas, de este modo todo indicaba que el fallo estaba en el equipo terminal, entonces sólo restaría determinar si el fallo fue originado por causa del hardware o del software.

2.7 Casa 6

2.7.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.7.1.1 Caracterización de fibra óptica

Para iniciar las pruebas de transmisión y recepción del ONT, primero se hizo la instalación de los cables y conectores requeridos utilizando la empalmadora, cortadora, pinzas, y demás equipo utilizado con los anteriores clientes, de manera que se obtuvo la siguiente imagen del microscopio de la Figura 38.

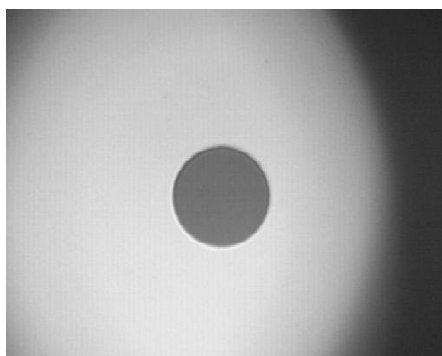


Figura 38. Conector para ONT de la casa 6 libre de imperfecciones

Como la inspección fue exitosa, se prosiguió con la evaluación de las potencias enviadas y recibidas, primero se trabajó con la potencia de transmisión, conectando el equipo de forma similar a la usada en otras casas, de donde se obtuvieron las mediciones de la Tabla 37, estas concedieron aprobar la fase de potencia transmitida como se puede ver en la Tabla 38.

Tabla 37. Potencia de transmisión del ONT de la casa 6

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.62
2	2.83
3	2.84
4	2.80
5	2.76
6	2.82
7	2.61
8	2.73
9	2.75
10	2.74
Promedio	2.75
Desviación	0.08

Tabla 38. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 6

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.75 ± 0.08	PASA

Del mismo modo, se llevó a cabo el registro de potencias recibidas, como la que se obtuvo en la Figura 39, solo que ahora los datos fueron muy bajos menores al umbral, provocando que el propio MPO desplegara el mensaje de falla.



Figura 39. Potencia de Rx (Downstream) del ONT en casa 6 a 1490 [nm]

Entonces, todos los valores de la Tabla 39 fueron bajos, resultando en que el promedio de esas potencias adicionando su desviación, no pasaran la prueba de recepción, de acuerdo a la Tabla 40.

Tabla 39. Potencias de recepción del ONT de la casa 6

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-29.91
2	-29.90
3	-28.65
4	-28.09
5	-29.86
6	-29.91
7	-28.59
8	-28.70
9	-29.41
10	-29.56
Promedio	-29.26
Desviación	0.69

Tabla 40. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 6

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-29.26 ± 0.69	FALLA

Como se puede notar, existieron complicaciones en la recepción dado que se recibía potencia menor a la sensibilidad del ONT, esto se trató y corrigió en el subtema 2.7.3.1.

2.7.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.7.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

Para la parte del protocolo de activación, se completó la siguiente lista de actividades de la Tabla 41 según el estado de los indicadores luminosos del ONT. De acuerdo a las resoluciones emitidas para cada actividad, se dio como terminada y correcta la instalación de los servicios en el domicilio del usuario.

Tabla 41. Valoración del estado de los servicios para la casa 6 con nuevo ONT

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.7.3 Resolución de fallas

2.7.3.1 Resolución de fallas de capa física

En la parte de la capa física, se halló que la potencia recibida no alcanzaba el umbral de recepción del ONT, por lo que con el VFL se trató de encontrar la pérdida de potencia que hubiera en el cableado, de este modo se encontró que la falla estaba en el lugar donde se colocó el sujetador de pared, el cual hacía mucha presión sobre la fibra y no dejaba completar la comunicación por que impedía el paso libre de la señal óptica. Así que al reajustar la sujeción de la fibra se midieron las potencias de entrada (ver Tabla 42), como la mostrada en la Figura 40.



Figura 40. Potencia de Rx (Downstream) del ONT en casa 6 a 1490 [nm] con fibra correctamente sujeta

Tabla 42. Potencias de recepción del ONT de la casa 6

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.91
2	-12.12
3	-11.87

4	-11.96
5	-11.82
6	-11.96
7	-12.01
8	-12.10
9	-11.82
10	-11.84
Promedio	-11.94
Desviación	0.11

Con estos nuevos valores, fue posible obtener un nuevo promedio de potencias aceptable (ver Tabla 43) y entonces asegurar el buen funcionamiento del ONT y proseguir con la etapa correspondiente.

Tabla 43. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 6

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-11.94 ± 0.11	PASA

2.7.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

En tanto a la capa de servicios, fueron nulos los inconvenientes presentes a la hora de la activación.

2.7.4 Conclusiones

En esta casa, logré hacer consciencia sobre la importancia de la adecuada manipulación del cable de fibra óptica, esto ocurrió porque únicamente fue necesaria una ligera presión adicional sobre la fibra para reducir la potencia de llegada al ONT y no alcanzar su sensibilidad, ello demuestra que se debe procurar la integridad del cable de fibra óptica para poder reducir las posibilidades de falla en el enlace. Una manera sencilla y visual de atender este tipo de fallas es mediante el VFL, el cual básicamente es un láser que emite luz en el intervalo del espectro visible que permite ver las pérdidas ópticas en una rápida inspección.

2.8 Casa 7

2.8.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.8.1.1 Caracterización de fibra óptica

Una vez desplegadas las conexiones y empalmes necesarios con el material y equipo empleados en las anteriores instalaciones, se empezaron a inspeccionar los conectores y con la ayuda del microscopio y el equipo conectado como en ocasiones pasadas, se tuvo la imagen de la Figura 41, el cual estaba limpio y sin desperfectos.

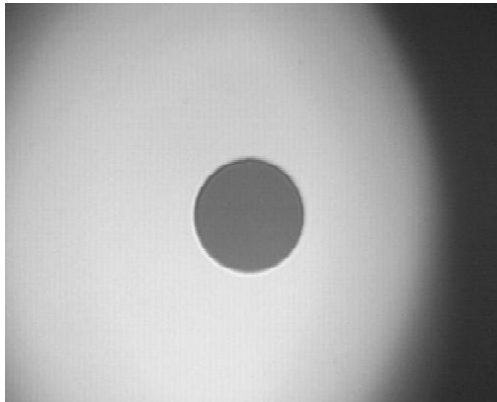


Figura 41. Conector para ONT de la casa 7 limpio y sin defectos

Comprobado el buen estado del conector, se procedió con la medición de potencia de salida del ONT y haciendo las conexiones utilizadas con las demás casas, se logró recabar los datos de la Tabla 44, los cuales se encontraron dentro del intervalo de trabajo del ONT (ver Tabla 45), por lo que pasó exitosamente esta prueba.

Tabla 44. Potencia de transmisión del ONT de la casa 7

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.71
2	2.69
3	2.84
4	2.71
5	2.82
6	2.72
7	2.77
8	2.79
9	2.68
10	2.73
Promedio	2.75
Desviación	0.05

Tabla 45. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 7

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.75 ± 0.05	PASA

Por su parte, se examinó la potencia recibida (ver Figura 42) usando los equipos del mismo modo que el empleado en las otras casas, enlistando los valores en la Tabla 46, pero de manera parecida a la casa anterior, la potencia fue muy baja, incluso más baja que en la casa 6.



Figura 42. Potencia de Rx (Downstream) del ONT en casa 7 a 1490 [nm]

Tabla 46. Potencias de recepción del ONT de la casa 7

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-36.20
2	-36.56
3	-35.81
4	-35.40
5	-35.29
6	-36.48
7	-36.97
8	-35.91
9	-37.43
10	-36.72
Promedio	-36.28
Desviación	0.68

Ya que la potencia recibida en promedio era muy baja (ver Tabla 47) seguramente el problema era una interrupción total en la continuidad de la fibra, por ello fue requerida una revisión detallada de la capa física para atender el fallo y resolverlo en el subtema 2.8.3.1.

Tabla 47. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 7

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-36.28 ± 0.68	FALLA

2.8.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.8.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

Para la parte correspondiente a la activación de voz video y datos, se establecieron los veredictos que se enseñan en la Tabla 48 de actividades de comprobación de estado de servicios, en conformidad con el encendido y apagado de los LEDs indicadores del ONT establecidos en su hoja de especificaciones [24].

Tabla 48. Valoración del estado de los servicios para la casa 7 con nuevo ONT

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

Siendo los resultados de la tabla favorables para los servicios de televisión, teléfono e internet, se terminó la instalación de los servicios en el hogar de forma adecuada.

2.8.3 Resolución de fallas

2.8.3.1 Resolución de fallas de capa física

Dado que la potencia de recepción estaba muy por debajo del umbral del equipo terminal, la primera impresión fue que se trataba de algún corte inesperado de la fibra, y al echar un rápido vistazo en el cable de fibra fue visible una rasgadura hecha por la mascota del usuario que la mordió mientras se efectuaban otras pruebas, muestra de ello se observa en la Figura 43.



Figura 43. Cable de fibra óptica roto

Una vez reparado el corte con un nuevo empalme, se volvieron a medir las potencias de entrada al ONT (ver Figura 44) y se llenó la Tabla 49 con los nuevos valores correctos, semejantes a los medidos con los otros usuarios que funcionaron de forma adecuada.



Figura 44. Potencia de Rx (Downstream) del ONT en casa 7 a 1490 [nm] luego de reparado el corte

Tabla 49. Potencias de recepción del ONT de la casa 7

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-12.20
2	-11.93
3	-12.17
4	-12.18

5	-12.17
6	-12.16
7	-11.95
8	-11.91
9	-12.00
10	-12.02
Promedio	-12.07
Desviación	0.12

Obtenidos estos resultados, la media y desviación están en la zona de potencias de operación del ONT (ver Tabla 50), entonces se pudo continuar con la etapa de activación de los servicios.

Tabla 50. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 7

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-12.07 ± 0.12	PASA

2.8.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

En tanto a la capa de servicios, no se presentaron problemas que dificultaran la comunicación entre el OLT y el equipo terminal.

2.8.4 Conclusiones

Con la instalación en esta casa, aprendí que la ingeniería en la implementación de un enlace debe considerar que hay muchos factores que pueden afectarlo, dentro de ellos están los que se pueden manejar mediante el uso de nuevas tecnologías y materiales, pero hay algunos otros que pueden presentarse con poca frecuencia o son impredecibles, para los cuales se debe decidir la implementación de soluciones adecuadas, y en este caso, lo más fácil y barato sería mantener a la mascota alejada del cable y equipo.

2.9 Casa 8

2.9.1 Pruebas de instalación de fibra óptica en redes GPON

2.9.1.1 Caracterización de fibra óptica

Para iniciar la inspección de los conectores, antes se implementaron los empalmes y cortes necesarios con el material usado en todas las casas anteriores para que el enlace pudiera ser puesto a prueba. La inspección se hizo conforme a las conexiones vistas de visualización de fibra, logrando obtener al microscopio la imagen de la Figura 45.

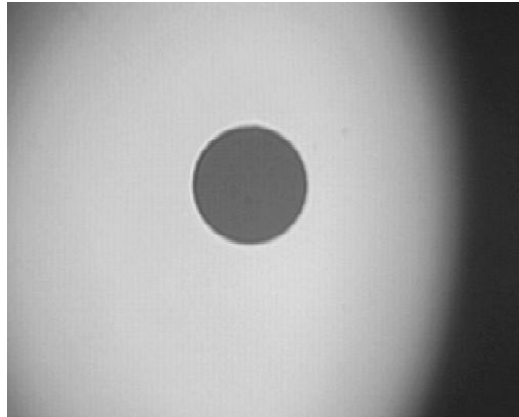


Figura 45. Conector para ONT de la casa 8 sin defectos

Como el resultado de la revisión fue satisfactorio, se continuó con las mediciones de potencia transmitida, conectando el equipo según las configuraciones anteriores correspondientes y registrando los valores en la Tabla 51.

Tabla 51. Potencia de transmisión del ONT de la casa 8

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	2.80
2	2.78
3	2.68
4	2.73
5	2.83
6	2.81
7	2.79
8	2.68
9	2.67
10	2.77
Promedio	2.75
Desviación	0.06

Tal y como se ve en la Tabla 52, los datos medidos de potencia, en promedio, entran en el rango de las potencias en que puede transmitir el ONT, pasando satisfactoriamente la prueba de transmisión.

Tabla 52. Resultado de las mediciones de Tx del ONT de casa 8

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
0.5 a 5.0 dBm	2.75 ± 0.06	PASA

Después, se enlistaron las potencias de recepción medidas con el equipo dispuesto para medir potencia recibida de ocasiones anteriores, los datos se enlistaron dentro de la Tabla 53, y a partir de ellos, al calcularse su media y su desviación estándar, se comprobó que la operación en recepción era correcta (ver Tabla 54) para continuar con la etapa de activación de servicios.

Tabla 53. Potencias de recepción del ONT de la casa 8

No. de medición	Potencia medida [dBm]
1	-11.99
2	-12.10
3	-12.06
4	-11.90
5	-11.96
6	-12.13
7	-12.02
8	-11.83
9	-11.96
10	-11.99
Promedio	-11.99
Desviación	0.09

Tabla 54. Resultado de las mediciones de Rx del ONT de casa 8

Potencia de salida permitida	Medición	Resultado
-27 a -8 dBm	-11.99 ± 0.09	PASA

2.9.2 Pruebas de activación de servicios en redes GPON

2.9.2.1 Protocolo de activación (voz, video y datos)

En lo que respecta a la activación de servicios, se revisaron los estados de encendido y apagado de los LEDs del ONT, y con las actividades enlistadas en la Tabla 55, se estableció que todas fueron exitosas. De ese modo, se concluyó con éxito la instalación de fibra óptica en el hogar del suscriptor.

Tabla 55. Valoración del estado de los servicios para la casa 8 con nuevo ONT

Actividad	Estado del LED	Veredicto
El equipo está encendido	POWER verde encendido	PASA
Hay comunicación entre OLT y ONT	PON encendido y LOS apagado	PASA
Televisión en funcionamiento	LAN1 parpadeando	PASA
Teléfono en funcionamiento	TEL1 encendido	PASA
Wi-fi en funcionamiento	WLAN encendido	PASA

2.9.3 Resolución de fallas

2.9.3.1 Resolución de fallas de capa física

La etapa de revisión de la capa física se llevó a cabo sin incidentes.

2.9.3.2 Resolución de fallas en capa de servicios

En cuanto a la parte de activación de servicios, no hubo problemas que afectaran la comunicación.

2.9.4 Conclusiones

Una vez más, como en la cuarta casa, no hubo mayor inconveniente al hacer la instalación, ya que por medio de las inspecciones de conectores se pueden prevenir los fallos de mayor presencia en los enlaces de la red GPON, además, el aseguramiento de la ausencia de macrocurvaturas o presiones excesivas, da mayor seguridad de un enlace funcional.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



CAPÍTULO 3

CONCLUSIONES



Con la instalación de la red de fibra óptica a la casa en los ocho hogares que lo solicitaron, me fue posible entender las implicaciones que hay en el trabajo de campo para poder finalizar con éxito un proyecto de Red GPON e incluso el mantenimiento y operación de la misma, para ello se deben llevar a cabo una serie de procedimientos los cuales se deben seguir para poder aumentar las probabilidades de que las instalaciones en los hogares de los suscriptores funcionen correctamente y los enlaces operen de forma adecuada y óptima.

El procedimiento que propongo consta de los siguientes pasos:

1. Comprobar la integridad física de la fibra óptica, es decir, asegurarse que no está demasiado doblada, presionada, estirada o tener cualquier exceso de tensión mecánica que forme macro curvaturas que provoquen quiebres o mayores pérdidas de potencia óptica. Un OTDR nos puede facilitar esta tarea.
2. Inspeccionar la integridad de los conectores empleados para acoplarse en los equipos, porque por las condiciones de esta forma de transmisión óptica hay mucha susceptibilidad a fallas de comunicación por la presencia de polvo, grasa, rayones o suciedad, que fácilmente se pueden evitar con una limpieza rápida con alcohol isopropílico y un paño que no libere pelusilla o deje residuos en la fibra. El microscopio óptico tiene una parte fundamental en esta tarea.
3. Asegurar el estado de operación del equipo, que funcione correctamente dentro de los intervalos de operación tanto en las potencias de entrada y salida, además sería conveniente revisar las longitudes de onda, anchos de banda, entre otros parámetros relacionado con la transmisión, pero esto es más bien parte de un trabajo más especializado de calibración que no se considera en esta tesis, aquí sólo se evaluaron las potencias de entrada y salida.
4. Realizar la activación de los servicios de voz, video y datos, que como se describió en cada casa, se trata de determinar el estado de la comunicación en conformidad con las indicaciones de los LEDs del ONT que viene en la hoja de datos del equipo, así se puede decir cual o cuales servicios están fallando y que el proveedor pueda dar soluciones al cliente.

De esta manera, este trabajo podría ser la base de alguna disposición técnica o recomendación para la operación e instalación de redes de acceso pasivas por fibra óptica en el país, o en su caso puede servir como complemento o versión sintetizada de otras normas, como la 1904.1 de la IEEE [25]. Particularmente en estos días en los que las empresas de comunicaciones que brindan servicios de voz, video y datos, están teniendo una mayor demanda de usuarios y cada vez de mayor capacidad, además de que están ampliando su cobertura a más zonas del país, y esta situación se está volviendo una tendencia, especialmente en países desarrollados cuyos habitantes están deseosos de estar conectados a toda hora a internet con el mayor ancho de banda para descargar contenido, jugar en línea o realizar transacciones financieras, por mencionar algunos usos más solicitados.

A lo largo de la realización de esta tesis también logré comprender el papel del ingeniero en telecomunicaciones ante los diversos retos que se pueden presentar al implementar un enlace de comunicaciones, ya que cuando se desplegaron las instalaciones hubo inconvenientes que de alguna manera pudieron ser previsibles o manejables, mientras que por otro lado se presentaron aquellos problemas que son poco frecuentes o que no son estrictamente científicos o técnicos, sino que son parte del proceso de ingeniería.

Durante estos casos, fueron tratables las situaciones de arreglo del estado de los conectores con una revisión en el microscopio y limpieza, o en el peor caso, se pudo hacer un nuevo empalme y cambiar el conector, pero por otro lado se presentó el raro caso de un ONT dañado en software o hardware presuntamente desde fábrica, y aún más extraño e imprevisible fue el evento de la mascota que mordió el cable de fibra óptica, esta situación es ajena a las consideraciones ópticas y técnicas del enlace, pero aun así tiene que prevenirse, ya sea poniendo un cable con una cubierta plástica más resistente, aunque resultaría más costoso comprar un cable más fuerte y hacer el cambio de cable en todas las líneas de fibra que salgan del divisor, y como la menor cantidad de clientes tienen mascotas, no es viable proponer una solución de este tipo, así que otra propuesta más adecuada es haciendo que la instalación se coloque a una mayor altura para que esté lejos del alcance del gato o perro.

También a través de este trabajo aprendí a manipular con mayor habilidad la fibra óptica, esto gracias a los muchos empalmes y preparaciones de fibra que realicé, incluyendo todos los cortes, desnudamiento, limpieza, colocación en la empalmadora, calentamiento del refuerzo plástico sobre el empalme, sobre todo estos últimos los tuve que asimilar porque cuando no se le colocaba el refuerzo, al mover enérgicamente la fibra desnuda empalmada había roturas en las zonas del empalme, aunque también las fracturas dependían de la calidad de la unión determinada por la precisión del corte y de la correcta colocación de las fibras.

Otra experiencia provechosa que adquirí fue un mejor manejo del OTDR, ya que al realizar la medición de la red la traza que se obtenía no era la que se esperaba, así que probé obtener ese trazo haciendo variar los parámetros de ancho de pulso, tiempo de adquisición, intervalo de medición y resolución, con ello finalmente obtuve la medición mostrada al inicio del capítulo 2, y gracias a esas variaciones confirmé que un mayor ancho de pulso permite un mayor alcance en la medición pero a la vez se reduce la resolución, así también noté que al aumentar el tiempo de adquisición puede aumentar el “rango dinámico” y mejorar la resolución, así que todo depende del tipo de red que se vaya a medir, que en este caso, se trató de una red de casi kilómetro y medio, la cual sólo requería ajustar el OTDR con un alcance de dos y medio kilómetro y con un ancho de pulso corto para lograr apreciar con mayor resolución la reflexión en cada una de las casas de los nuevos clientes.

BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

- [1] Corning, «Glossary Terms,» [En línea]. Available: <http://www.corning.com/california/products/communication-networks/resources/glossary-terms.html>. [Último acceso: 28 Octubre 2016].
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Acceso universal,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2007&issue=07&ipage=universal-access&ext=html>. [Último acceso: 29 Marzo 2016].
- [3] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 22 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.oecd.org/newsroom/world-must-act-faster-to-harness-potential-of-the-digital-economy.htm>. [Último acceso: 06 Agosto 2016].
- [4] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, Tercera ed., Rochester, Nueva York: Wiley-Interscience, 2002.
- [5] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Recomendación ITU-T G.984.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON), Características generales*, 2009.
- [6] W. Tomasi, «Sistemas de Comunicaciones Electrónicas,» Cuarta ed., México, PEARSON EDUCACIÓN, 2003.
- [7] «Red de acceso: Wikipedia,» [En línea]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/30/Red_de_acceso.JPG/300px-Red_de_acceso.JPG. [Último acceso: 16 Mayo 2016].
- [8] «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/IPTV>. [Último acceso: 16 05 2016].
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «An Introduction to PON Technologies,» *IEEE Communications Magazine*, 2007.
- [10] «redes PON,» [En línea]. Available: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRz0GGjQbAKjverOaQBObMRtRPWU0dOYZJuZGkWnY7yYVb85haG>. [Último acceso: 16 Mayo 2016].
- [11] A. Rodríguez, «Fibra óptica hoy,» 12 Noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.fibraopticahoy.com/fibre-to-the-home-ftth/>. [Último acceso: 17 Mayo 2016].
- [12] Facultad de Ingeniería, UNAM, *Manual de prácticas del Laboratorio sistemas de Comunicaciones Ópticas*, Ciudad de México, 2015.

- [13] M. Á. Matesanz, «Fibra óptica hoy,» 28 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://www.fibraopticahoy.com/conectores-para-fibra-optica-un-poco-de-historia-2/>. [Último acceso: 2016].
- [14] C. Chen, «LinkedIn,» 26 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/whats-difference-between-upc-apc-connectors-cheer-chen>. [Último acceso: 18 Mayo 2016].
- [15] «Videk Network Systems & IT Solutions,» [En línea]. Available: <http://www.videk.co.uk/shopimages/sections/normal/3182B-15.jpg>. [Último acceso: 18 Mayo 2016].
- [16] «Direct Industry,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/leoni-fiber-optics/product-14158-1348853.html>. [Último acceso: 18 Mayo 2016].
- [17] «Tutorial de Comunicaciones Ópticas,» 2006. [En línea]. Available: http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_5_1.htm. [Último acceso: 19 Mayo 2016].
- [18] «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Birrefringencia>. [Último acceso: 19 Mayo 2016].
- [19] ALMA LABS, «Alma Laboratorios, Productos,» [En línea]. Available: <http://almalaboratorios.com/sumitomo/>. [Último acceso: 20 Mayo 2016].
- [20] Anritsu, «Test and Measurement, Products,» [En línea]. Available: <https://www.anritsu.com/en-US/test-measurement/products/mu909014b-14b1-15b-15b1>. [Último acceso: 19 Mayo 2016].
- [21] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Recomendación ITU-T G.657 : Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso*, 2013.
- [22] Huawei Technologies, *SmartAX MA5600T Multi-service Access Module Commissioning and Configuration Guide*, 2009.
- [23] Huawei Technologies, «Productos, Red de acceso,» [En línea]. Available: <http://e.huawei.com/mx/products/fixed-network/access/olt/ma5680t>. [Último acceso: 23 Mayo 2016].
- [24] Huawei Technologies, *EchoLife HG8245 GPON Terminal, Product Description*, 2011.
- [25] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Standard for Conformance Test Procedures for Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks, IEEE Std 1904.1 Package B*, Nueva York, 2015.