



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Desarrollo de un kit de configuración automatizado en una red GPON

Autor:

Dña Guadalupe Plaza Martín

Tutor:

Dña Noemí Merayo Álvarez

TÍTULO: Desarrollo de un kit de configuración automatizado de una red GPON

AUTOR: Dña. Guadalupe Plaza Martín

TUTOR: Dña. Noemí Merayo Álvarez

DEPARTAMENTO: Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

PRESIDENTE: Patricia Fdez del Reguero

VOCAL: Juan Carlos Aguado Manzano

SECRETARIO: Noemí Merayo Álvarez

SUPLENTE: Ramón J. Durán Barroso

SUPLENTE: Rubén M. Lorenzo Toledo

FECHA: **CALIFICACIÓN:**

Resumen de TFG

Los futuros ingenieros de Telecomunicación deben estar al corriente de las nuevas tecnologías basadas en fibra óptica que se utilizan hoy en día, y están transformando el sector de las redes de acceso. La maqueta de una red GPON real disponible en el laboratorio de docencia de Comunicaciones Ópticas de la Universidad de Valladolid, reforzará el aprendizaje del principio de funcionamiento de la red, tanto a nivel físico como de proveedor de servicios. En este sentido, este Trabajo de Fin de Grado se centra en el desarrollo de un conjunto de recursos y prácticas relacionadas con la gestión de la red de acceso GPON tanto a nivel físico como a nivel de configuración de servicios y perfiles de abonado personalizados. Así pues, por un lado, se plantea un caso de uso real de la configuración de servicios a través de un modo de gestión integrado en la maqueta, basándonos antes en un estudio de mercado de las tarifas ofrecidas por los principales operadores en España. Por otro lado, se plantea el diseño y simulación de los dos canales de comunicación de la red de acceso GPON, y se comparan los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos a nivel real. Finalmente, se ha realizado un análisis preliminar de la realidad aumentada y su aplicación a la maqueta real de la red de acceso GPON.

Palabras clave

GPON, testbed, OptSim, prácticas educativas, configuración de red, realidad aumentada, 3D.

Abstract

Future Telecommunication engineers need to be conscious of the new fiber-based technologies that are in use nowadays, and which are changing the access network sector. A real testbed of a GPON network located in the Optical Communications teaching

laboratory of the University of Valladolid, will reinforce the learning of the operating principle of the network, at both the physical and the service provider levels. This End-of-Grade work focuses on the development of a set of resources and experimental sessions related to the management of the GPON acces network, in the physical layer and in the configuration of services and subscriber profiles. On the one hand, a real case of use is proposed, configuring services by means of a visual management mode integrated in the real testbed. On the other hand, the design and simulation of the two communication channels of the GPON testeb is proposed, comparing the simulation results with those obtained from the real access network. Finally, a preliminary analysis of augmented reality and its application to the real testbed of the GPON acces network has been done.

Keywords

GPON, testbed, OptSim, kit of laboratory sessions, network configuration, augmented reality, 3D.

ÍNDICE

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo General	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Fases y Métodos	3
1.3.1	Fase de Análisis.....	3
1.3.2	Fase de Configuración.....	4
1.3.3	Fase de Programación	4
1.3.4	Fase de Realización de los Informes	4
1.4	Estructura de la Memoria del TFG.....	5
2	Montaje de la red GPON y modo de gestión TGMS (<i>Telnet GPON Management system</i>)	6
2.1	Introducción	6
2.2	Montaje real de la red GPON en el laboratorio.....	7
2.3	Interfaz de gestión y configuración TGMS (<i>Telnet GPON Management System</i>)	16
2.4	Menús principales del TGMS	19
2.4.1	Menú Devices.....	19
2.4.2	Menú Profiles	25
2.4.3	Menú Subscribers, Alarms, Log y Configuration	27
2.5	Conclusiones	29
3	Caso de uso: Configuración de la red GPON por un proveedor de servicios	30
3.1	Introducción	30
3.2	Análisis de tarifas y servicios de operadoras en España	30

3.3	Configuración de los dispositivos de la red GPON	32
3.4	Caso de uso real: Configuración de un Servicio de Internet en la red GPON..	33
3.4.1	Configuración del servicio de Internet en el TGMS	33
3.4.2	Configuración del servicio de Internet en el router de la ONU	41
3.4.3	Reconfigurar la ONU	47
3.5	Caso de uso real: Configuración de un Servicio de Video en la red GPON	48
3.5.1	Configuración del servicio vídeo en la interfaz del TGMS	48
3.5.2	Configuración del servicio de vídeo en el router de la ONU	54
3.6	Conclusiones.....	55
4	Análisis del tesbed GPON a nivel físico mediante Optsim.....	56
4.1	Introducción	56
4.2	Introducción a la plataforma de simulación Optsim.....	57
4.3	Análisis de potencias en sentido de bajada y subida en la red GPON.....	58
4.4	Diseño y análisis de la red GPON en el canal descendente usando Optsim.....	63
4.5	Diseño y análisis de la red GPON en el canal ascendente usando Optsim.....	85
4.6	Conclusiones.....	108
5	Realización de un modelo en 3D del ONT y visualización en realidad aumentada	110
5.1	Introducción	110
5.2	Blender: software para diseño gráfico en 3D	111
5.3	<i>Aumentaty Author</i> : herramienta para la generación de contenidos de Realidad Aumentada.....	113
5.4	Resultados del modelado en 3D del ONT	115
5.5	Conclusiones.....	119
6	Conclusiones y Líneas Futuras	120
6.1	Conclusiones.....	120
6.2	Líneas Futuras.....	121

7	Bibliografía	123
---	--------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista general y elementos de la red de acceso GPON	8
Figura 2. Esquema de la red de acceso GPON.	9
Figura 3. Apariencia del modelo de OLT SmartOLT 350.....	10
Figura 4. Esquema frontal del SmartOLT 350	10
Figura 5. Apariencia del modelo de ONU/ONT <i>WaveAccess 3021</i>	11
Figura 6. Vista frontal de las ONUs/ONTs en la red de acceso GPON del laboratorio ...	11
Figura 7. Bobinas de fibra óptica en el montaje GPON realizado en el laboratorio	12
Figura 8. Divisores ópticos o <i>splitters</i>	13
Figura 9. Caja de empalmes (parte superior) y bobina de distribución (parte inferior) ...	14
Figura 10. Esquema detallado de la red GPON	15
Figura 11. Configuración de la caja de empalmes.....	16
Figura 12. Configuración de red del TGMS	17
Figura 13. Arranque de la máquina virtual donde está instalado el TGMS	18
Figura 14. Acceso al TGMS	19
Figura 15. Pantalla principal del TGMS. Menú <i>Devices</i>	20
Figura 16. Panel de gestión de los diferentes OLTs	20
Figura 17. Panel de gestión por puertos.....	21
Figura 18. Panel de gestión de las ONUs conectadas a la red GPON	21
Figura 19. Monitor de estado de una ONU.....	23
Figura 20. Menú de configuración por puertos de la ONU	24
Figura 21. Menú de configuración de ONU	24
Figura 22. Apartado <i>Profiles</i> dentro del menú principal <i>Profiles</i>	25
Figura 23. Apartado <i>Services</i> dentro del menú principal <i>Profiles</i>	26
Figura 24. Apartado <i>Bandwidth Maps</i> dentro del menú principal <i>Profiles</i>	26
Figura 25. Apartado <i>VLAN Maps</i> dentro del menú principal <i>Profiles</i>	27
Figura 26. Menú <i>Suscribers</i>	27

Figura 27. Captura del Menú <i>Alarms</i>	28
Figura 28. Menú <i>Log</i>	28
Figura 29. Menú <i>Configuration</i>	29
Figura 30. Pantalla de inicio del TGMS	32
Figura 31. Menú <i>VLAN Maps</i>	34
Figura 32. Configuración del mapeado VLAN	34
Figura 33. Menú de asignación de anchos de banda en el canal ascendente y descendente <i>Bandwidth Maps</i>	36
Figura 34. Configuración del mapeado de ancho de banda	36
Figura 35. Menú <i>Services</i>	37
Figura 36. Configuración del servicio	38
Figura 37. Configuración de un perfil de servicios	39
Figura 38. Menú principal <i>Devices</i> para sincronizar y actualizar el estado de la red	40
Figura 39. Menú donde aparecen las ONUs registradas junto con su estado y características del perfil de servicios asociados	40
Figura 40. Menú de configuración de la ONU	41
Figura 41. Menú <i>Device Info</i> del router de la ONU	42
Figura 42. Menú <i>WAN Service</i>	43
Figura 43. Menú <i>WAN Service Interface Configuration</i>	43
Figura 44. Menú <i>WAN Service Configuration</i>	44
Figura 45. Menú <i>WAN IP Settings</i> para configura la IP del servidor.....	45
Figura 46. Menú <i>Network Address Translation Settings</i>	45
Figura 47. Selección de la interfaz de salida	46
Figura 48. Configuración del servidor DNS	47
Figura 49. Menú de configuración de puertos de la ONU	48
Figura 50. Pestaña <i>Multicast Channels</i>	49
Figura 51. Pestaña correspondiente al menú <i>Multicast Packs</i>	50
Figura 52. Configuración mapeado VLAN IP estática	51

Figura 53. Configuración del servicio	52
Figura 54. Configuración del perfil del servicio.....	53
Figura 55. Menú de configuración de puertos de la ONU.....	54
Figura 56. Configuración del router de la ONU para vídeo	55
Figura 57. Fuente de luz	61
Figura 58. Medidor de potencia óptica	61
Figura 59. Montaje para simular el canal <i>Downstream</i> de la red GPON	65
Figura 60. Modificación de la tasa de transmisión	66
Figura 61. Parámetros por defecto de la señal NRZ.....	66
Figura 62. Parámetros por defecto del modulador.....	67
Figura 63. Modificación de los parámetros del láser del OLT	68
Figura 64. Modificación de la distancia entre el OLT y el <i>splitter</i> en el canal <i>downstream</i>	69
Figura 65. Modificación de la longitud de onda y la atenuación de la fibra óptica entre el OLT y el <i>splitter</i> en el canal <i>downstream</i>	70
Figura 66. Modificación de las pérdidas introducidas por los conectores en el componente atenuador	70
Figura 67. Modificación de las pérdidas introducidas por el <i>splitter</i>	71
Figura 68. Modificación de la distancia entre el splitter y la ONT 0	72
Figura 69. Parámetros del receptor de la ONU1.....	73
Figura 70. Editar parámetros de la simulación	73
Figura 71. Establecer longitud de onda para la simulación	74
Figura 72. Establecer tasa de transmisión para la simulación	74
Figura 73. Inicio de la simulación del canal <i>downstream</i> OptSim	75
Figura 74. Simulación en curso	75
Figura 75. Visualizar resultado en el medidor de potencia	76
Figura 76. Potencia óptica a la salida del OLT.....	77
Figura 77. Potencia de transmisión del láser de 11 dBm.....	79

Figura 78. Diagrama de ojos y BER para la ONU 0 (potencia del láser 7,5 dBm).....	81
Figura 79. Diagrama de ojos y BER para la ONU 1 (potencia del láser 7,5 dBm).....	81
Figura 80. Diagrama de ojos y BER para la ONU 2 (potencia del láser 7,5 dBm).....	82
Figura 81. Diagrama de ojos y BER para la ONU 3 (potencia del láser 7,5 dBm).....	82
Figura 82. Diagrama de ojos y BER para la ONU 0 (potencia del láser 11 dBm).....	83
Figura 83. Diagrama de ojos y BER para la ONU 1 (potencia del láser 11 dBm).....	83
Figura 84. Diagrama de ojos y BER para la ONU 2 (potencia del láser 11 dBm).....	84
Figura 85. Diagrama de ojos y BER para la ONU 3 (potencia del láser 11 dBm).....	84
Figura 86. Montaje para simular el canal upstream	85
Figura 87. Modificar tasa de transmisión.....	87
Figura 88. Parámetros por defecto de los bloques NRZ	87
Figura 89. Parámetros por defecto de los moduladores	88
Figura 90. Parámetros establecidos para el láser de la ONU0 en una de las simulaciones	89
Figura 91. Parámetros establecidos para el láser de la ONU 1 para una de las simulaciones	90
Figura 92. Distancia establecida entre la ONU0 y el splitter	91
Figura 93. Longitud de onda y atenuación de la fibra óptica entre la ONU0 y el splitter	92
Figura 94. Pérdidas introducidas por el splitter.....	92
Figura 95. Pérdidas introducidas por los conectores.....	93
Figura 96. Distancia establecida para la fibra óptica entre el splitter y el OLT	94
Figura 97. Longitud de onda y atenuación en la fibra óptica entre el splitter y el OLT	94
Figura 98. Parámetros del receptor (OLT)	95
Figura 99. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 0 (laser 5,5 dBm)	98
Figura 100. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 1 (laser 5,5 dBm)	98
Figura 101. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 2 (laser 5,5 dBm)	99
Figura 102. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 3 (laser 5,5 dBm)	99
Figura 103. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 0 (laser 11 dBm)	100

Figura 104. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 1 (laser 11 dBm)	100
Figura 105. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 2 (laser 11 dBm)	101
Figura 106. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 3 (laser 11 dBm)	101
Figura 107. Montaje de la red de acceso con algoritmo TDMA	102
Figura 108. Pulsos que generan los bloques "SQWAVEx"	103
Figura 109. Parámetros de "SQWAVE1"	104
Figura 110. Parámetros de "SQWAVE2"	105
Figura 111. Parámetros de "SQWAVE3"	105
Figura 112. Parámetros de "SQWAVE4"	106
Figura 113. Potencia óptica después del splitter	107
Figura 114. Ejemplo de cómo comprobar el valor en la gráfica	108
Figura 115. Interfaz del programa 3D Blender	112
Figura 116. Creación del modelo de la ONT/ONU	113
Figura 117. Marcador de <i>Aumentaty Author</i>	113
Figura 118. Interfaz de la herramienta <i>Aumentaty Author</i>	114
Figura 119. Escena de realidad aumentada con el modelo 3D de la ONT/ONU	115
Figura 120. Vista frontal del modelo 3D del ONT/ONU	116
Figura 121. Vista de la parte trasera del modelo 3D del ONT/ONU	116
Figura 122. Vista frontal del ONT/ONT con <i>Aumentaty Viewer</i>	117
Figura 123. Vista trasera del ONT/ONU con <i>Aumentaty Viewer</i>	118
Figura 124. Vista frontal del ONT/ONU en 3D con <i>Aumentaty Viewer</i> para móvil	118
Figura 125. Vista trasera del ONT/ONU en 3D con <i>Aumentaty Viewer</i> para móvil	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tarifas de diferentes operadores españoles	31
Tabla 2. Potencias reales recibidas por el OLT y las ONUs y observadas en el TGMS ..	63
Tabla 3. Medidas de potencia óptica obtenidas en OptSim en la primera simulación.....	77
Tabla 4. Medidas de potencia óptica obtenidas en OptSim en la segunda simulación	79
Tabla 5. Resultados obtenidos para el canal upstream con Optsim (laser 5,5 dBm)	95
Tabla 6. Resultados obtenidos para el canal upstream con Optsim (laser 11 dBm)	97
Tabla 7. Potencia a la salida de las ONUs.....	107

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la atenuación en el splitter	13
Ecuación 2. Cálculo de la atenuación teórica en el sentido <i>Downstream</i> de la red GPON	60
Ecuación 3. Cálculo de la atenuación teórica en el sentido <i>Upstream</i> de la red GPON ..	63
Ecuación 4. Cálculo de la potencia óptica a la salida del láser para la potencia de transmisión mínima del OLT	68
Ecuación 5. Cálculo teórico de la potencia recibida por las ONTs/ONUs	78
Ecuación 6. Cálculo de la potencia óptica a la salida del láser para la potencia de transmisión máxima del OLT	78
Ecuación 7. Cálculo teórico de la potencia recibida por las ONTs/ONUs	80
Ecuación 8. Cálculo de la potencia de salida del láser para la potencia de transmisión mínima de la ONU	86
Ecuación 9. Cálculo teórico de la potencia recibida por el OLT para la potencia de transmisión mínima de la ONU	96
Ecuación 10. Cálculo teórico de la potencia recibida por el OLT para la potencia de transmisión máxima de la ONU	97

1

Introducción

1.1 Motivación

En este Trabajo Fin de Grado se ha llevado a cabo el desarrollo de un kit de prácticas educativas para familiarizarse con la automatización y gestión de la configuración de una red de acceso real GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Network*). Esta red óptica pasiva, con capacidad de gigabit se encuentra situada en el laboratorio de Comunicaciones Ópticas (2L007) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación [1] de la Universidad de Valladolid.

La red GPON, cuyos dispositivos fueron comprados a la empresa TELNET Redes Inteligentes [2], es una red óptica pasiva basada en el estándar Gigabit. Este tipo de redes de acceso son las más desplegadas a nivel mundial hoy en día debido en parte a su gran simplicidad, ya no existen componentes activos en toda la planta externa, esto es, entre la oficina central del operador y las dependencias del abonado (entre 20 y 25 kilómetros de distancia). La red, basada en una topología lógica en árbol con un elemento central y varios equipos de usuario, sigue las reglas del protocolo GPON, que son el conjunto de recomendaciones G.984.x del ITU-T (*International Telecommunication Union*) [3]. Este protocolo permite obtener tasas de transmisión muy elevadas en ambos canales de comunicación. En el sentido de bajada (*Downstream*), puede llegar hasta 2,488 Gbps y en el de subida (*Upstream*), hasta 1,244 Gbps [3].

Para disponer de una red GPON, son necesarios una serie de dispositivos. Los componentes principales de esta red, también diseñados por la empresa TELNET Redes Inteligentes [2], son el elemento central que se situaría en las dependencias del operador, denominado OLT (*Optical Line Termination*) y los equipos de usuario, denominados

ONUs/ONTs (*Optical Network Unit/Terminal*). Con estos elementos y utilizando un divisor óptico que permita dividir la señal y llegar a diferentes usuarios, se puede conseguir una red de alta velocidad con topología lógica en árbol y un alcance físico de unos 20-25 kilómetros [3].

Una vez montada y puesta en funcionamiento la red GPON en el laboratorio de docencia, el punto básico de este estudio es el desarrollo de material educativo relacionado con el análisis a nivel físico y a nivel de configuración de dicha red, es decir, ponerla en funcionamiento emulando las tareas realizadas por un proveedor de servicios. Por un lado, se diseñará una práctica en la que se configurarán un conjunto servicios de datos (Internet) y servicios de vídeo, que serán asociados a diferentes perfiles de abonado y éstos se asignarán a una o varias ONUs/ONTs. La red también permite configurar servicios de telefonía pero al no disponer de servidor de telefonía, el estudio se centrará en los servicios de Internet y vídeo. Para ello, se utilizará la plataforma de gestión desarrollada por la empresa TELNET Redes Inteligentes [2], el TGMS (*TELNET GPON Management System*) [4]. Este modo de gestión es el más utilizado por un proveedor de servicios al ser un sistema web sencillo, fácil de manejar, intuitivo y rápido a la hora de realizar tareas de configuración y gestión. Permite crear diferentes servicios y agruparlos en perfiles de usuario personalizados. Abstrae al programador de la complejidad del protocolo GPON. Por otro lado, también se ha desarrollado otra práctica más centrada a nivel físico, en la que utilizando la plataforma de simulación OptSim, se recreará la red GPON real y se analizarán parámetros a nivel físico, tales como la potencia óptica, los diagramas de ojos o la tasa de error de bit. Finalmente, estos valores se compararán con los obtenidos a nivel real en la red GPON.

Finalmente, se harán un estudio preliminar de cómo integrar la realidad aumentada como material educativo dentro de nuestro testbed real. Para ello, en este trabajo se ha desarrollado un dispositivo ONT/ONU con tecnología 3D y cuyo objetivo será complementar las metodologías docentes de un modo más atractivo e interactivo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es el desarrollo de un conjunto de recursos y material educativo relacionado con la gestión, configuración y análisis de la red de acceso GPON tanto a nivel físico como a nivel de gestión de servicios y perfiles de abonado. Este objetivo general se puede desglosar en otros más específicos que se detallan a continuación.

1.2.2 Objetivos Específicos

Con la realización de este estudio se han cubierto los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollo de una práctica de configuración de servicios de Internet y vídeo y agrupación en perfiles de usuario utilizando el modo de gestión TGMS en la red GPON.
2. Desarrollo de una práctica en OptSim para simular a nivel físico la red GPON en el canal ascendente y descendente y comparar los valores con los obtenidos reales de nuestra red real del laboratorio.
3. Diseño y programación de un dispositivo ONT/ONU real del laboratorio con realidad aumentada en 3D con fines educativos.

1.3 Fases y Métodos

La metodología a seguir para el desarrollo de los objetivos del Trabajo Fin de Grado ha constado fundamentalmente de las fases que se explicarán a continuación.

1.3.1 Fase de Análisis

Esta fase tiene la finalidad de familiarizarse con la red de acceso GPON. Para ello, se analiza la topología y los componentes de la red. Este estudio se dividirá en dos puntos fundamentales:

- Análisis del montaje real de la red: estudio de la estructura y topología de la red y de las conexiones que tienen los componentes entre sí en el

testbed real montado en el laboratorio.

- Análisis de potencias en los canales de comunicación: análisis del rango de potencias que hace que la red GPON esté perfectamente operativa. Para ello partimos del análisis realizado en un Trabajo Fin de Grado anterior tanto en el canal de bajada (*Downstream*) como en el de subida (*Upstream*).

1.3.2 Fase de Configuración

Esta fase tiene como objetivo la configuración de servicios de Internet y vídeo en la red. Una vez se ha adquirido el suficiente manejo de la red a través del análisis físico anterior, se trabajará en la parte de configuración y gestión de la misma, de forma que los usuarios de la red puedan disponer de estos servicios. Esta fase se centrará en la configuración de servicios utilizando el modo de gestión TGMS [4], que será un sistema de gestión web más intuitivo desarrollado por TELNET Redes Inteligentes [2]. A partir de este modo de gestión se aprenderá a configurar los diferentes parámetros que forman los servicios y posteriormente, se agruparán los mismos en perfiles de usuario que serán asignados a los clientes de la red (ONTs/ONUs).

1.3.3 Fase de Desarrollo y Programación

En esta fase del proyecto se llevarán a cabo las tareas de diseño y desarrollo de las prácticas así como su programación. Por un lado, se utilizará el modo de gestión TGMS para desarrollar la parte de configuración de la red GPON. Por otro lado, se utilizará la plataforma de simulación OptSim para llevar a cabo el análisis comparativo a nivel físico de la red GPON en los dos canales, esto es, el de subida y el de bajada. Finalmente, se diseñará y programará el dispositivo ONT/ONU en 3D para combinarlo con la realidad aumentada.

1.3.4 Fase de Realización de los Informes

En esta fase, se procedió a realizar los informes del proyecto, en concreto, la memoria del Trabajo de Fin de Grado.

1.4 Estructura de la Memoria del TFG

El Capítulo 2 presenta el análisis realizado a nivel físico de la red GPON. Se describe el montaje general de la red con su topología y elementos principales. También se realiza la descripción del modo de gestión TGMS [4], su interfaz, características y menús principales.

En el Capítulo 3, se estudia un caso de uso real de configuración de servicios a través del modo de gestión TGMS [4]. Se realiza un pequeño estudio de mercado de las tarifas que ofrecen los principales operadores en España, y después se describen los pasos a seguir para configurar dos de estas tarifas, una con servicio de Internet y la otra con servicio de vídeo.

En el Capítulo 4, se describe paso a paso el diseño y simulación de los dos canales de comunicación de la red de acceso GPON utilizando OptSim. Se realizan una serie de simulaciones con esta herramienta y se comparan los resultados obtenidos con los resultados obtenidos de la red real que se encuentra en el laboratorio.

El Capítulo 5 describe las herramientas utilizadas para crear un modelo en 3D de uno de los elementos principales de la red de acceso. También se describe brevemente el proceso llevado a cabo para realizar este diseño y se muestran los resultados obtenidos.

En el Capítulo 6, se recogen las conclusiones derivadas de todo el trabajo realizado en este Trabajo de Fin de Grado, así como las líneas futuras que se abren a partir de él para próximas investigaciones.

Finalmente, en el Capítulo 7, se incluyen todas las referencias bibliográficas citadas a lo largo de esta memoria.

2

Montaje de la red GPON y modo de gestión TGMS (*Telnet GPON Management system*)

2.1 Introducción

En este capítulo, se describe la arquitectura y montaje de la red de acceso GPON. Esta red se encuentra en el laboratorio de Comunicaciones Ópticas (2L007) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid [1]. La red está compuesta por varios elementos, los principales son el OLT (*Optical Line Termination*) y las ONT/ONUs (*Optical Network Terminal/Unit*), que son el componente principal de la red y el dispositivo del abonado, respectivamente. La red también cuenta con otros elementos como el divisor óptico o *splitter*, la fibra óptica y la caja de empalmes. Las características y funciones de todos ellos en la red GPON se detallarán a continuación como parte de este análisis.

En la última parte del capítulo, se describe uno de los modos de gestión de la red GPON, el TGMS (*TELNET GPON Management System*). El TGMS es una plataforma web que permite la gestión tanto de los dispositivos del operador (OLTs) como de los equipos de usuario (ONT/ONUs). Su interfaz es muy sencilla e intuitiva y permite realizar la configuración de la red sin necesidad de conocer a fondo el protocolo GPON [3]. En dicho apartado, se realizará una descripción de los menús principales que componen el TGMS.

2.2 Montaje real de la red GPON en el laboratorio

Una red de acceso es un conjunto de dispositivos que conecta a los usuarios finales con su proveedor de servicios. Esta red de acceso sigue las reglas establecidas por el estándar GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Network*). Se trata de una red óptica pasiva (*PON – Passive Optical Network*) con capacidad de Gigabit. Las redes PON (*Passive Optical Network*) son redes punto-multipunto que sólo cuentan con elementos pasivos, como puede ser un *splitter*, entre los OLT (*Optical Line Termination*) y las ONT/ONUs (*Optical Network Terminal/Unit*). El estándar GPON es el conjunto de normas G.984.x del ITU-T [3], que según el sentido de la comunicación establece unas propiedades diferentes:

- Sentido descendente (*Downstream*): el tráfico de datos es punto-multipunto, desde el OLT a las ONT/ONUs, con una tasa de 2,488 Gbps. La longitud de onda de transmisión es 1490 nm, cerca de la 3ª ventana, con una atenuación muy baja (0,2 – 0,3 dB/km) [3].
- Sentido ascendente (*Upstream*): el tráfico de datos es mutipunto-punto, desde las ONT/ONUs al OLT, con una tasa de 1,244 Gbps. La longitud de onda de transmisión es 1310 nm, cerca de la 2ª ventana, con una atenuación algo mayor que la anterior (~0,4 dB/km). En este canal todos los usuarios (ONT/ONUs) comparten el medio (fibra óptica) para la transmisión de datos, lo que requiere un protocolo que evite las colisiones. El estándar GPON utiliza TDMA (*Time División Multiple Access*), que requiere una sincronización muy fuerte entre los elementos de la red.

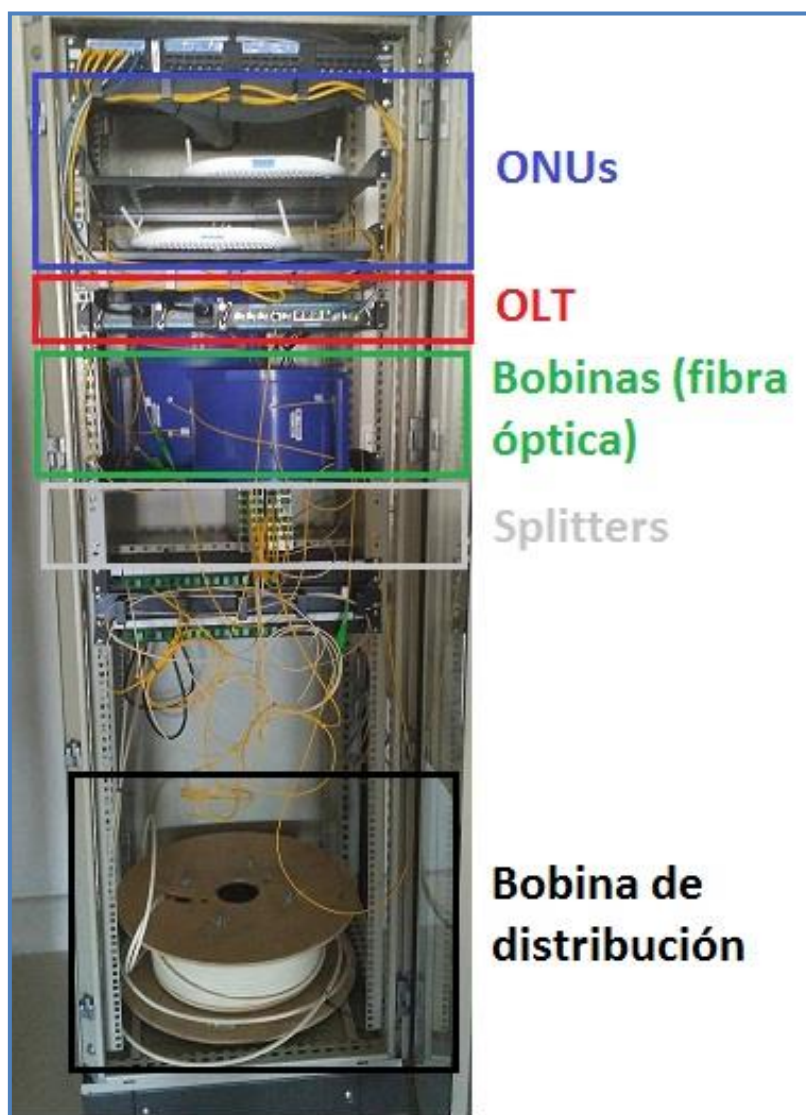


Figura 1. Vista general y elementos de la red de acceso GPON

En la Figura 1 se pueden ver todos los elementos de la red, fabricados por la empresa TELNET Redes Inteligentes de manera que se garantiza su interoperabilidad [2]. Como se puede observar en la parte superior se encuentran las cuatro ONUs, que corresponden a los equipos de usuario. Debajo se sitúa el OLT, que es el equipo situado en la oficina central y el dispositivo central de la red. A continuación podemos ver tres bobinas, dos de ellas de 5 kilómetros y una de 10 kilómetros de fibra óptica (permite configurar distintas distancias desde 5 a 20 kilómetros). Estas bobinas se encargan de conectar el OLT y los divisores ópticos (*splitter*). Después se encuentran dos divisores ópticos, uno de razón 1:8 (1 entrada – 8 salidas) y otro 2:8, lo que permite establecer dos niveles de división de la señal óptica si se conectan ambos. En el caso normal solo se 8

utilizará el divisor 1:8. Por último se observa la bobina de distribución, con 5 kilómetros de fibra que une el *splitter* con las ONT/ONUs. La longitud de este último tramo se puede regular utilizando la caja de empalmes que se encuentra encima de la bobina, de manera que cada equipo de usuario (ONT/ONU) se sitúe a una distancia diferente.

De este modo, el esquema de la red es el que se muestra en la Figura 2. Sigue la estructura típica de una red GPON [7].

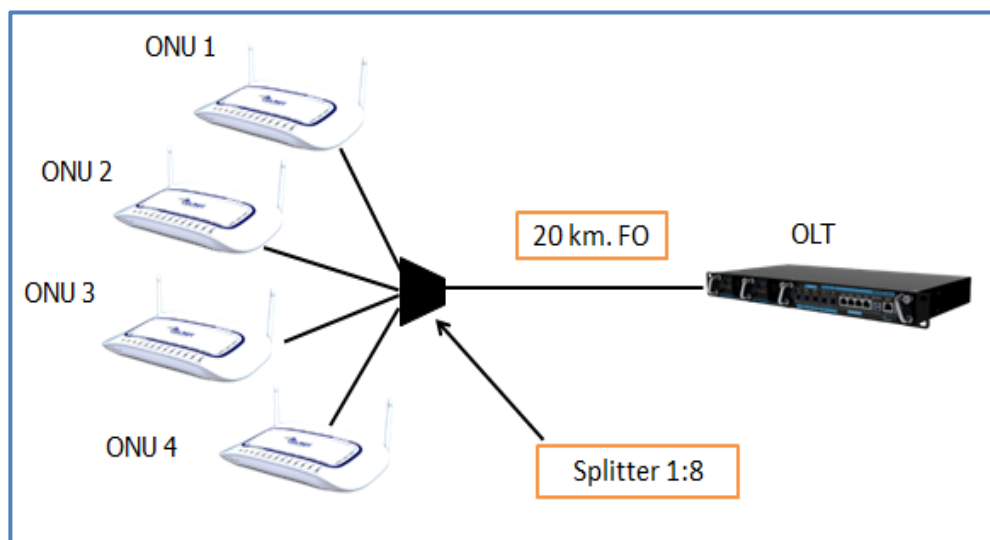


Figura 2. Esquema de la red de acceso GPON.

Por otro lado, se presenta a continuación una descripción más profunda de los elementos que constituyen la red GPON de laboratorio:

- OLT (Optical Line Termination): es el dispositivo responsable de la configuración de las ONT/ONUs y de establecer las normas que deben seguir estos dispositivos para la transmisión. El OLT realiza la gestión de la red mediante una interfaz web (TGMS – *TELNET GPON Management System* [4]) o mediante comandos relacionados con el estándar GPON (CLI-*Command Linte Interface* [5]). Desde estos modos de gestión, se pueden controlar el número de usuarios en la red, dar de alta o de baja a los usuarios, controlar los servicios de datos, vídeo y telefonía que se ofrecen, así como el ancho de banda proporcionado a cada usuario [8]. El modelo del OLT utilizado en esta red es el *SmartOLT350* [9], que se puede ver en la Figura 3. Este modelo tiene cuatro puertos GPON: PON 0, PON 1, PON 2 y PON 3, cada uno soporte tasas de 2,488 Gbps en sentido

de bajada y 1,244 Gbps en sentido de subida. También cuenta con cuatro puertos de transporte: PORT 0, PORT 1, PORT 2 y PORT 3 (Figura 4), cada uno de ellos conectado a un puerto GPON. Este OLT permite la conexión de hasta 64 ONT/ONUs, lo que supone que puede tener conectados hasta 256 equipos de usuario [8]. Además, cuenta con un puerto de gestión *FastEthernet* que hace posible la gestión del OLT a través del TGMS.



Figura 3. Apariencia del modelo de OLT SmartOLT 350

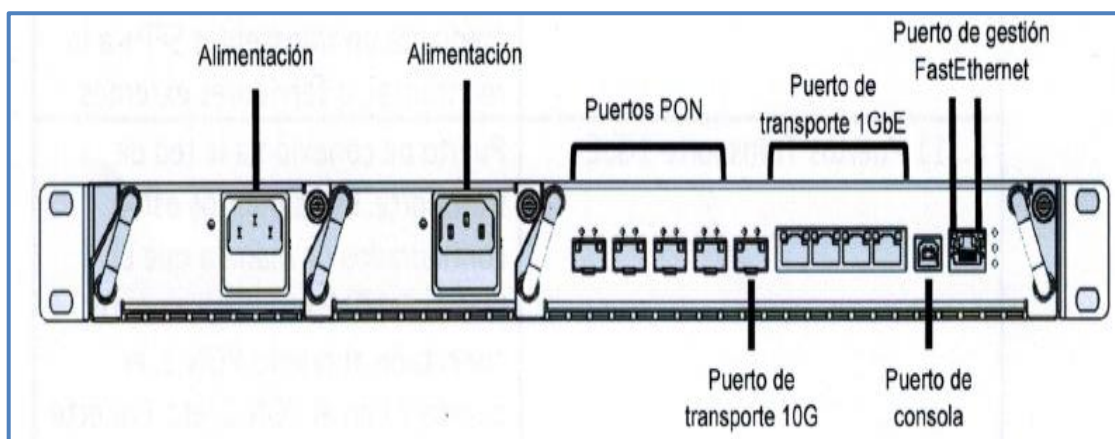


Figura 4. Esquema frontal del SmartOLT 350

- ONT/ONU (Optical Network Terminal/Unit): es el equipo del usuario. El modelo utilizado es el *WaveAccess 3021* [10] que se muestra en la Figura 5. Estos dispositivos permiten la conexión inalámbrica de varios

terminales de usuario a la red de fibra óptica, proporcionando acceso a servicios como la conexión a Internet, telefonía de Voz sobre IP y TV por internet. Este modelo de equipos tienen capacidades de *router* internas, ya que para proporcionar estos servicios no necesitan ningún dispositivo adicional (ONUs/ONTs de nivel 3). En la red del laboratorio se dispone de cuatro ONUs *WaveAccess 3021* [10] de nivel 3 (con router integrado), tal y como se observa en la Figura 6.



Figura 5. Apariencia del modelo de ONU/ONT *WaveAccess 3021*



Figura 6. Vista frontal de las ONUs/ONTs en la red de acceso GPON del laboratorio

- Bobinas de fibra óptica: conectan el OLT con el *splitter*. Estas bobinas azules cuentan con 20 kilómetros (en total) de fibra óptica monomodo G652-D[12], dos de ellas con 5 kilómetros y otra con 10 kilómetros. Las tres bobinas están unidas mediante conectores, lo que permite alterar el orden en que están conectadas o reducir la distancia total desconectado alguna de ellas (Figura 7).



Figura 7. Bobinas de fibra óptica en el montaje GPON realizado en el laboratorio

- Divisor óptico (*splitter*): es el encargado de dividir las señal procedente del OLT en varios flujos que comunican con las ONT/ONUs. Se trata de un elemento pasivo, lo que significa que no requiere ninguna señal eléctrica o fuente de energía externa para realizar la división de la señal. En la red del laboratorio se utiliza un *splitter* con una entrada y ocho salidas, tal y como se observa en la Figura 8 (izquierda). Las pérdidas asociadas a este dispositivo se muestran en la Ecuación 1. El laboratorio dispone dos divisores ópticos y en la Figura 8 se pueden ver ambos, a la izquierda el *splitter* de una entrada y ocho salidas y a la derecha el de dos entradas y ocho salidas.

$$Loss (dB) = 10 \times \log(n^{\circ} \text{ salidas}) = 10 \times \log(8) = 9,03 \text{ dB}$$

Ecuación 1. Cálculo de la atenuación en el splitter



Figura 8. Divisores ópticos o *splitters*

- Caja de empalmes: sirve para regular la distancia entre el *splitter* y las ONT/ONUs, de manera que cada usuario se localice a una distancia diferente. La caja de empalmes (Figura 9) cuenta con 16 puertos de entrada y 16 puertos de salida. La distancia establecida depende combinación de puerto de entrada y puerto de salida que se realice, pudiendo alcanzar un máximo de 5 kilómetros de distancia.
- Bobina de distribución: contiene la fibra óptica que conecta los *splitter* con las ONT/ONUs, en total 5 kilómetros de fibra óptica monomodo de tipo G652-D [12] (parte inferior de la Figura 9).

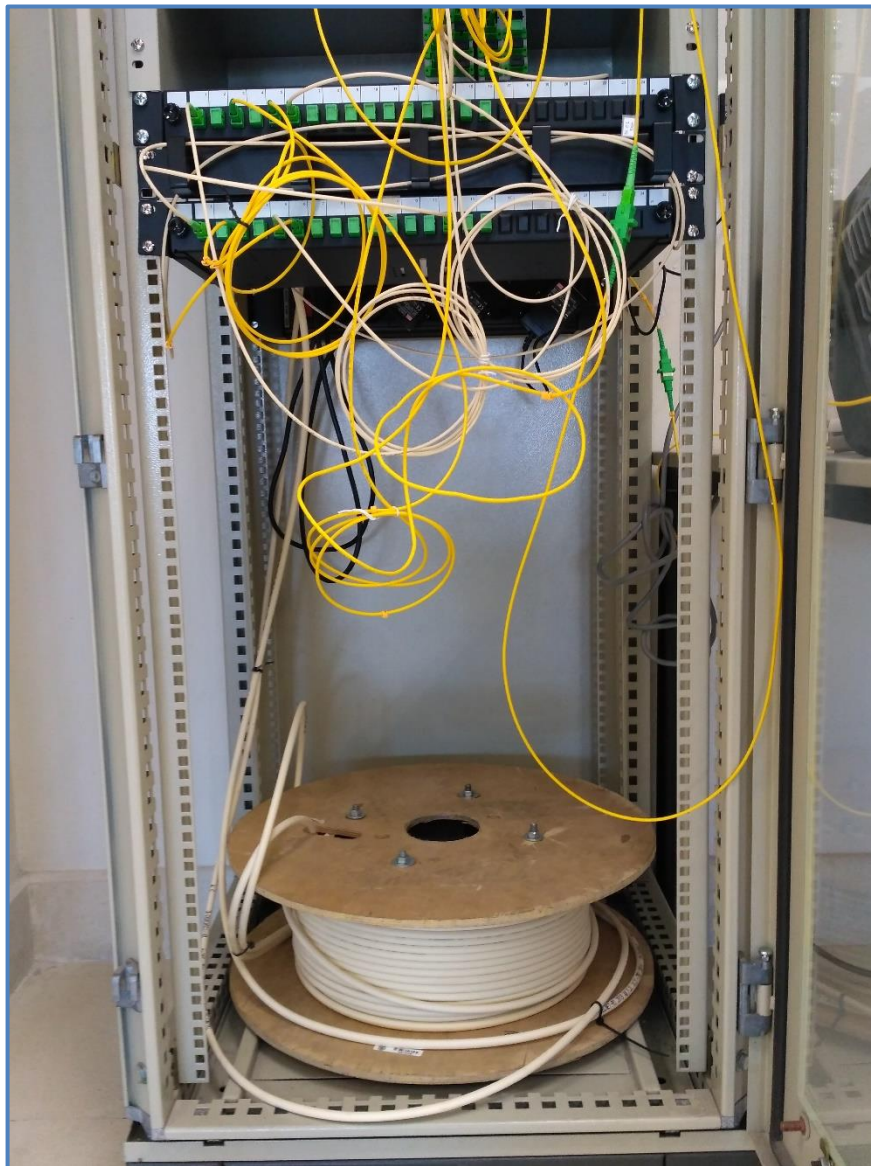


Figura 9. Caja de empalmes (parte superior) y bobina de distribución (parte inferior)

En la Figura 10 se muestra un esquema general de la red de acceso y todos sus elementos.

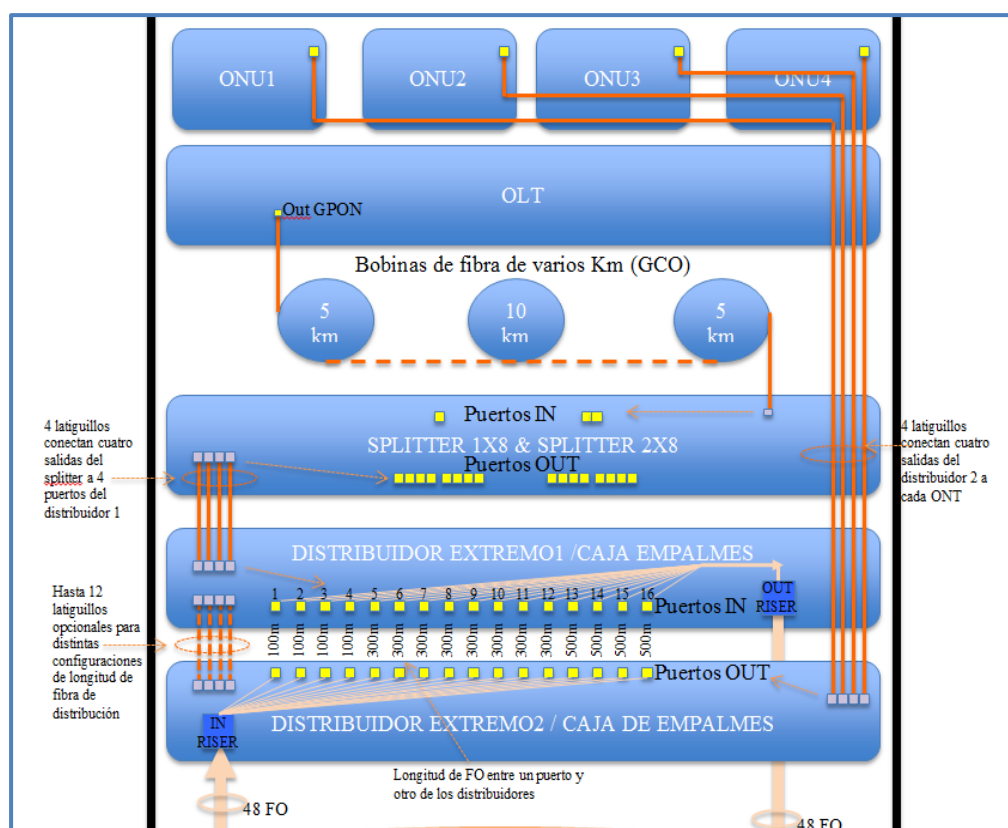


Figura 10. Esquema detallado de la red GPON

En la Figura 11 se muestra el esquema de la configuración de la caja de empalmes. Según el puerto de entrada y salida escogido la distancia será diferente, pudiendo concatenar varios puertos para conseguir la distancia deseada. Concatenando los 16 puertos de entrada y salida se obtendrá la distancia máxima, en este caso los 5 kilómetros de fibra óptica de la bobina de distribución.

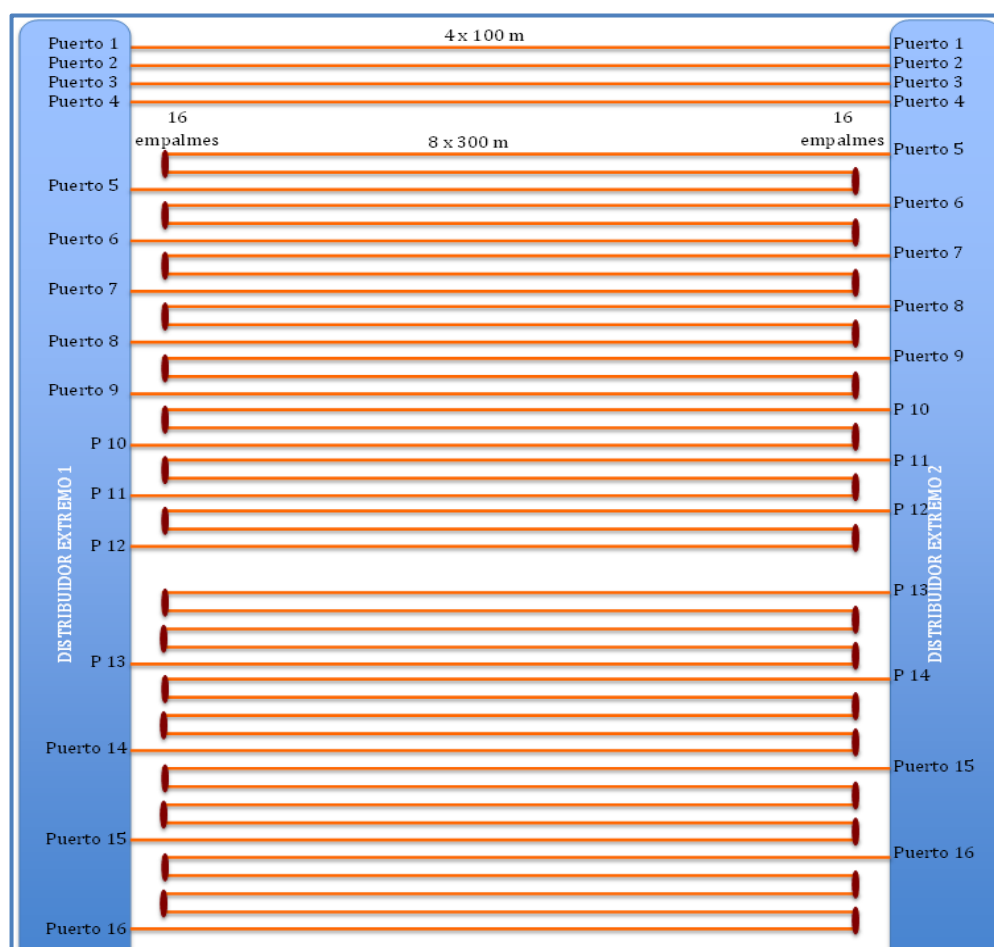


Figura 11. Configuración de la caja de empalmes

2.3 Interfaz de gestión y configuración TGMS (*Telnet GPON Management System*)

El TGMS (*TELNET GPON Management System*) permite controlar y gestionar todos los elementos de la red GPON a través de una interfaz web. Aunque permite gestionar varios OLTs, siempre que estén en la misma subred de gestión, en este caso se trabajará solo con uno. La plataforma web es muy sencilla lo que permite realizar la configuración de servicios de una manera muy intuitiva.

El TGMS que proporciona TELNET Redes Inteligentes está instalado en una máquina virtual compatible con *VirtualBox* [15]. Para que el TGMS funcione correctamente se deben configurar las interfaces de red en *VirtualBox* de manera que se pueda acceder a los OLTs de la red. Para poder acceder al OLT a través del TGMS se

debe conectar el puerto *FastEthernet* del OLT (Figura 4) a la misma subred que el ordenador que funciona como host de la máquina virtual, de manera que tengan direcciones IP (*Internet Protocol*) del mismo rango. En la Figura 12 se presenta la configuración necesaria para el funcionamiento del TGMS, a través de un esquema genérico que proporciona el manual [4], con las direcciones IP correspondientes.

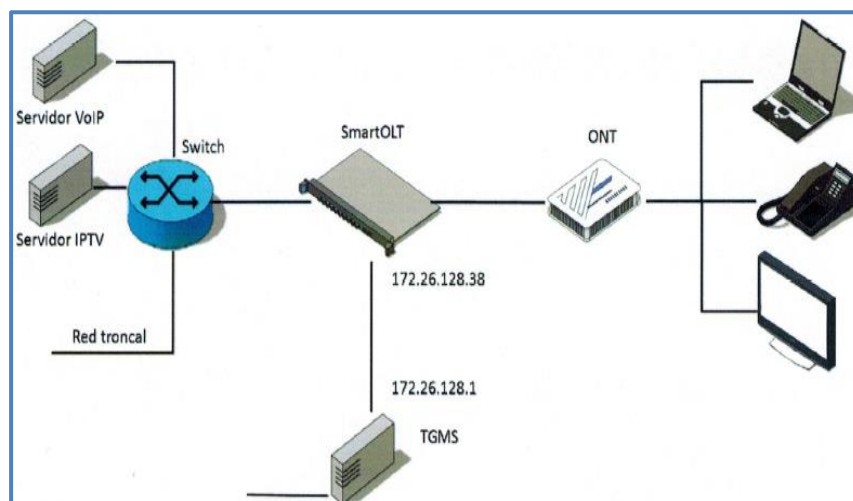


Figura 12. Configuración de red del TGMS

El OLT tiene como dirección IP la 172.26.128.38 (se puede cambiar) y el ordenador en el que se encuentra la máquina virtual con el TGMS instalado, tiene asignada la dirección 172.26.128.1 en la interfaz que conecta con el OLT. Así, ambos se encuentran en la misma subred, que se denominará subred de gestión. Una vez realizada la configuración, hay que arrancar la máquina virtual desde *Oracle VM VirtualBox* [15]. Para ello, con la máquina virtual de nombre TGMS seleccionada se pulsará el botón Iniciar, que se muestra en la Figura 13. Este proceso tardará unos minutos.

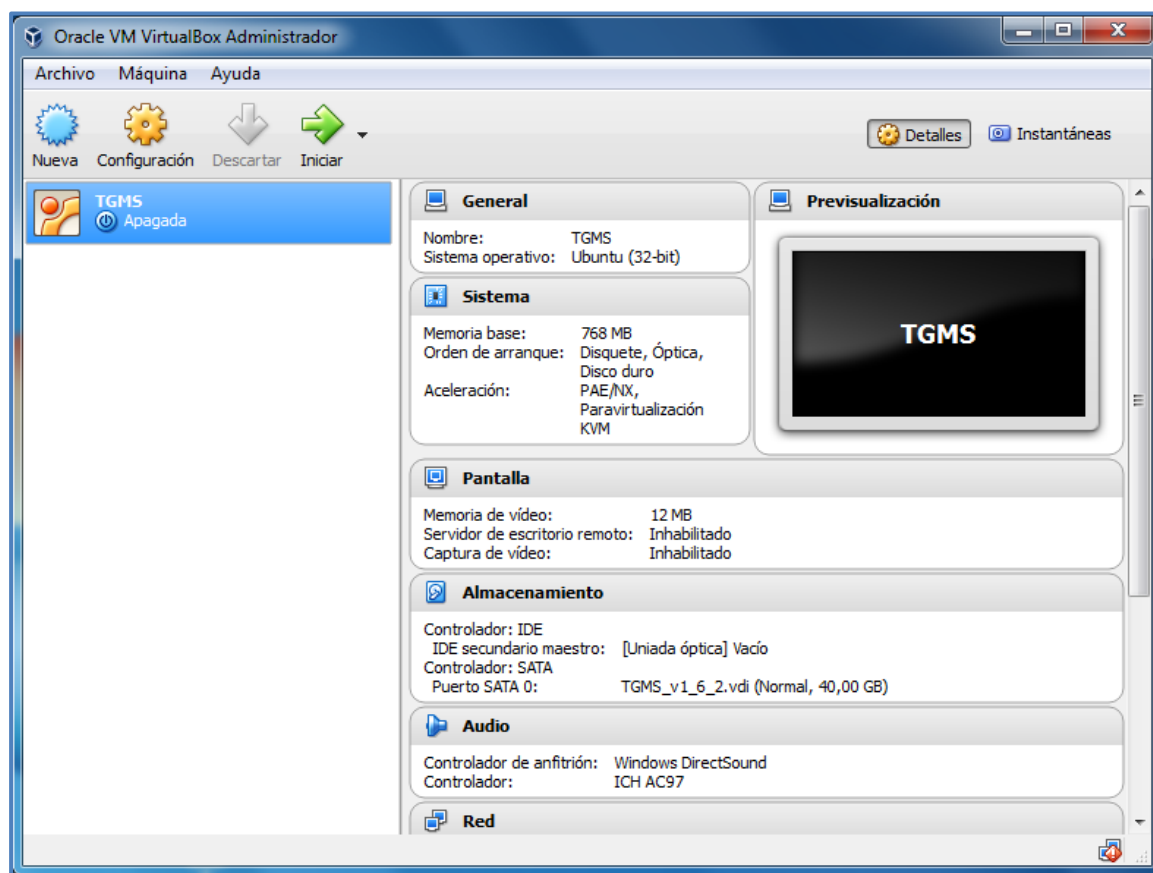


Figura 13. Arranque de la máquina virtual donde está instalado el TGMS

Cuando la máquina virtual esté operativa, se podrá acceder al TGMS desde una de las direcciones <http://172.26.128.1> o <http://192.168.56.99> [4] a través del navegador web (Firefox o Chrome). Aparecerá la interfaz web del TGMS, mostrada en la Figura 14, que solicitará las credenciales de acceso. El *Login* es *root* y el *Password* es *management*.

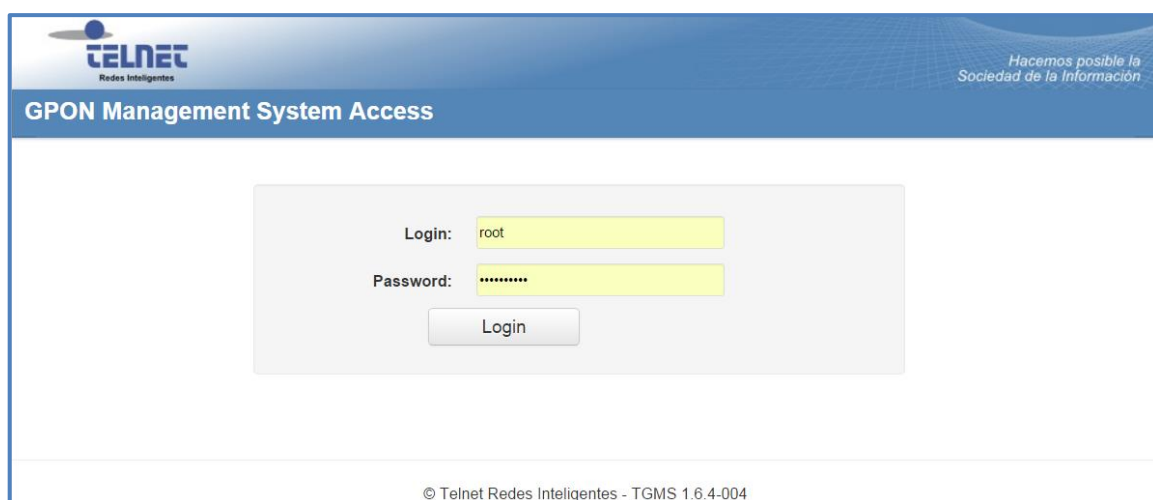


Figura 14. Acceso al TGMS

Una vez validado el acceso, aparecerá el menú principal del TMGS. En los siguientes apartados, se realizará una breve descripción de todos los menús del TGMS, que en conjunto son seis: *Devices*, *Profiles*, *Subscribers*, *Alarms*, *Log* y *Configuration*. Para acceder a cada menú se pulsará sobre el nombre del menú en la parte superior de la interfaz que se muestra en la Figura 15. Para conocer con mayor profundidad los detalles de cada uno de los menús, se debe acudir al manual del TMGS [4].

2.4 Menús principales del TGMS

En este apartado de la memoria se describirán los menús principales de la interfaz web del TGMS, haciendo una descripción más detallada de los menús y características que intervienen en la creación de los servicios y perfiles de abonado.

2.4.1 Menú *Devices*

Es el menú que muestra el sistema cuando se accede al TGMS, en la pantalla principal, tal y como se observa en la Figura 15. Este menú muestra el panel de gestión de los OLTs.

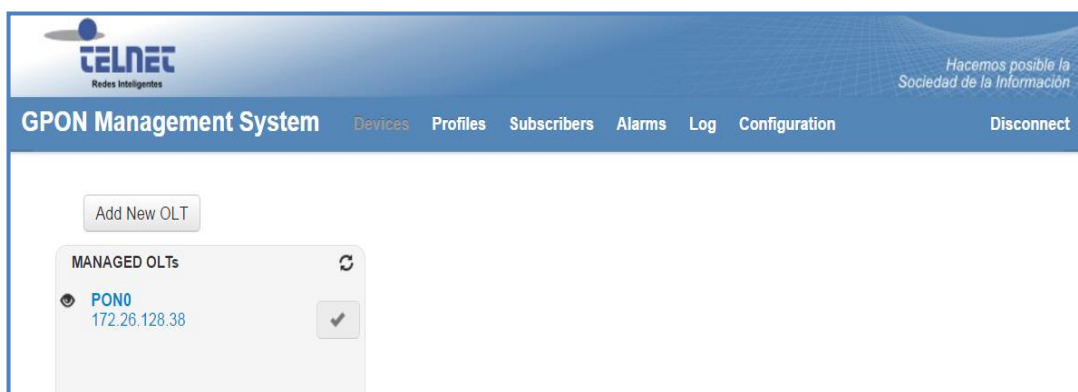




Figura 15. Pantalla principal del TGMS. Menú *Devices*

El panel de gestión de OLTs muestra la información más relevante de los OLTs gestionados por la red (en este caso solo uno) como se observa en la Figura 16. Este panel muestra los siguientes datos:

- Menú de configuración: pulsando el icono  en dicho panel se accederá al menú de configuración del OLT.
- Estados de conectividad: este estado puede marcar que hay conectividad (es el que se observa en la Figura 16), que no hay conectividad y que la información no está sincronizada. En este último caso, la información se sincronizará pulsando .
- Notificaciones: este apartado muestra las alarmas que se encuentran activas en las ONUs, si existe alguna ONU deshabilitada y los errores de configuración en las ONUs.

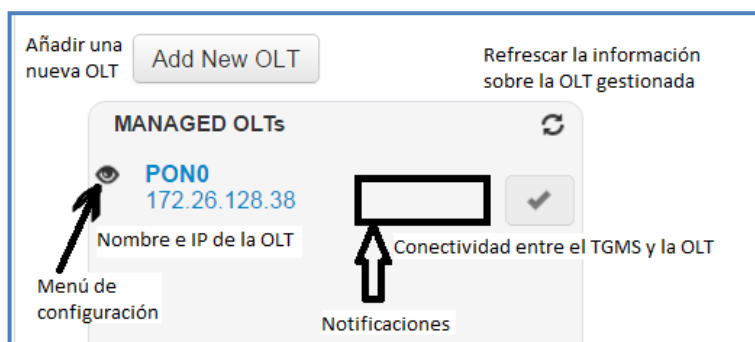


Figura 16. Panel de gestión de los diferentes OLTs

En el panel de gestión de OLTs, pulsando sobre *PON0* (por ser el puerto habilitado en nuestra red) aparece el menú de gestión de puertos. Aquí, pulsando sobre *Port 0* se puede ver el número de ONUs conectadas a la red GPON, así como su estado. Tal y como se observa en la Figura 17, en la red GPON del laboratorio hay registradas y activas cuatro ONUs.

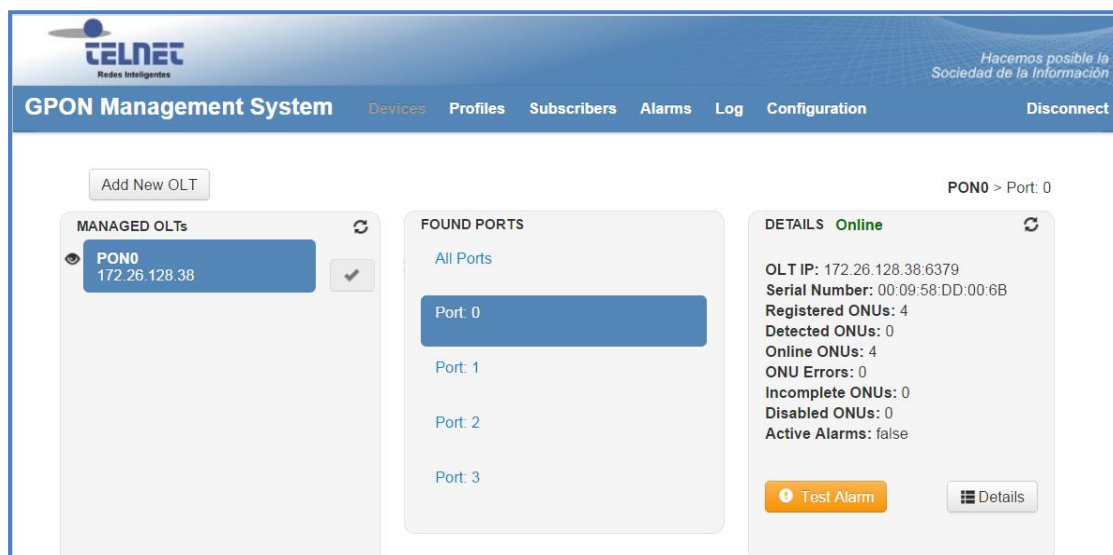



Figura 17. Panel de gestión por puertos

Dentro de dicho panel, al pulsar sobre el botón  **Details** aparece el panel de gestión de ONUs, como se muestra en la Figura 18.

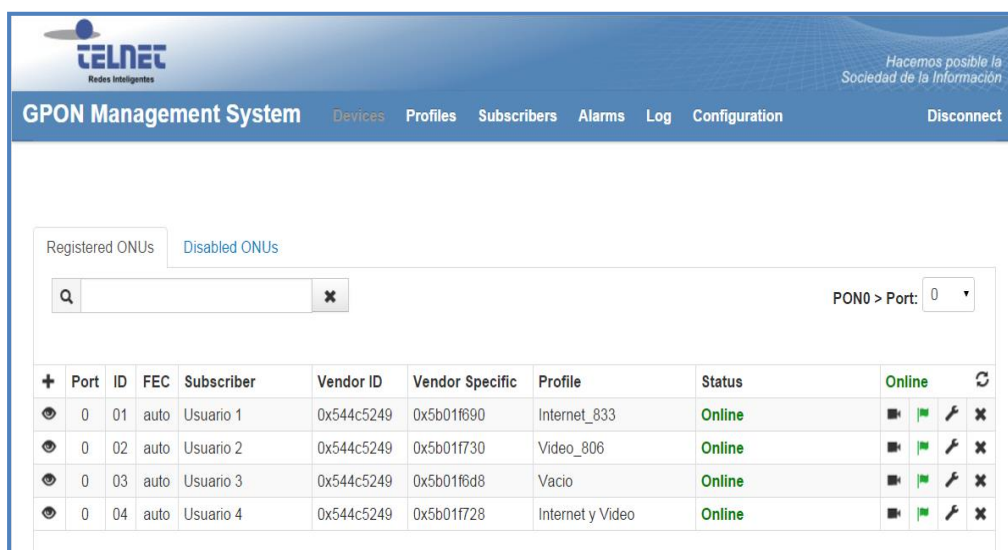









Figura 18. Panel de gestión de las ONUs conectadas a la red GPON

En la Figura 18 se muestra la pestaña *Registered ONUs* (parte superior izquierda del panel). Aquí aparecen todas las ONUs habilitadas conectadas al *PON0* \rightarrow *Port 0*, aunque puede modificarse el puerto seleccionado (0, 1, 2, 3) o mostrar la información relativa a todos los puertos (All), en la parte superior derecha de la pestaña. También se podrá añadir una nueva ONU pulsando el botón  (parte izquierda del menú), consultar y modificar la configuración de una ONU pulsando  (situado a la izquierda del menú) o eliminar una ONU pulsando  (derecha del menú). Para actualizar la información de las ONUs habrá que pulsar el icono . Tal y como se muestra en el menú de la Figura 18 la información que se muestra sobre cada ONU es la siguiente [4]:

- Port: puerto en el que está registrada dicha ONU (puerto 0 en nuestro caso).
- ID: identificador de cada ONU (de 01 a 04).
- FEC: indica si se utiliza corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*).
- Subscriber: nombre del suscriptor al que está vinculado cada ONU (introducido por el proveedor).
- Vendor ID / Vendor Specific: son los identificadores de equipo. El campo *Vendor ID* es el mismo para las 4 ONUs por pertenecer al mismo fabricante. Por otro lado, el campo *Vendor Specific* corresponde con últimos 8 valores hexadecimales de la dirección MAC de cada ONU, que se puede consultar en la parte inferior de los dispositivos.
- Profile: nombre del perfil de servicios asignado.
- Status: estado de la ONU. A continuación se muestran los estados más comunes en las ONUs, el resto vienen detallados en el manual del TGMS [4]:
 - ✓ *Online*: la ONU está activa y los servicios configurados correctamente.
 - ✓ *Never connected*: la ONU nunca se ha conectado a la red y no se dispone de información sobre ella.

- ✓ *Not connected*: la ONU no está conectada en ese momento, pero lo ha podido estar.
 - ✓ *Detected*: la ONU ha sido detectada y el sistema está comprobando su configuración. Este estado aparece cuando la ONU acaba de ser conectada o se ha realizado algún cambio en la configuración.
 - ✓ *Disabled*: la ONU está desactivada. En este caso, aparecerá en la pestaña *Disabled ONUs* en lugar de *Registered ONUs*.
 - ✓ *OMCI Configuration Error*: error de comunicación con la OLT. Este estado aparece cuando el nivel de potencia recibido está fuera de los límites permitidos.
- Online: en este campo se puede acceder al monitor de estado de la ONU pulsando  (Figura 19), a las alarmas activas pulsando  (si hay alarmas activas el icono será de color rojo) y al menú de configuración por puertos de la ONU pulsando . Tal y como se observa en el monitor de estado de la ONU la información más importante que aparece es la potencia óptica recibida por el OLT, en sentido de subida, y la potencia óptica recibida por la ONU, en sentido de bajada.

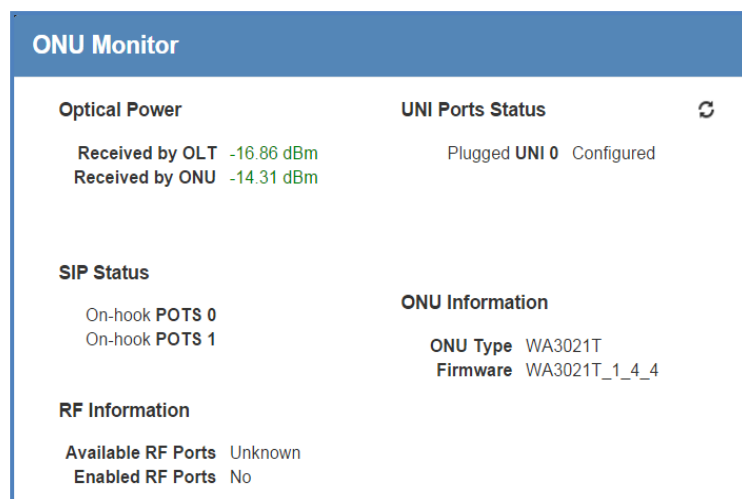


Figura 19. Monitor de estado de una ONU

Finalmente, en la Figura 20 se muestra el menú de configuración por puertos de la ONU, donde se pueden consultar los servicios asignados a la ONU/ONT y configurar los servicios de vídeo y telefonía.

ONT Ports Configuration

0x544c5249000000c9

Service	Location	Service Status	
Data_L2_10D_1U	UNI-0	Configured	
VoIP_L2	POTS-0	Configured	
IPTV_Multicast	UNI-3	Configured [1]	
IPTV_IGMP	UNI-3	Configured	

Reconfigure (Reconfigure ONT with the last synchronized configuration).

Reboot (Reboot ONT with the last synchronized configuration).

Figura 20. Menú de configuración por puertos de la ONU

Cuando se desee modificar la configuración de una ONU (👁) o añadir una nueva (+) aparecerá el menú de configuración de la ONU, tal y como se observa en la Figura 21.

ONU Configuration

ONU ID
01

Vendor ID
0x544c5249

Specific ID
0x5b01f690

Signal Degraded Threshold
Bit Error Rate (BER) - 10⁻⁵

Signal Fail Threshold
Bit Error Rate (BER) - 10⁻³

FEC
default

RF PORT (If present)
default

Profile
Voz

Subscriber
12345678H

Lower Optical Threshold
Default - - dBm

Upper Optical Threshold
Default - - dBm

Close Save

Figura 21. Menú de configuración de ONU

En este menú se puede modificar el identificador de la ONU, así como seleccionar el perfil y suscriptor que tiene asociados. El valor del campo *Specific ID* dependerá de si la ONU está conectada a la red o no. En el primer caso el campo estará ya completo, mientras que en el segundo habrá que introducir su valor. Los valores

límites de la BER (*Bit Error Rate*) y la potencia óptica también se pueden configurar, sino se tomarán los valores por defecto [4].

2.4.2 Menú Profiles

En este menú aparecen los perfiles de abonado que se asocian a cada cliente tal y como se observa en la Figura 22. Cada perfil puede tener asociados uno o varios servicios, que a su vez tendrán asociado un ancho de banda (*Bandwidth Map*) y un mapeado VLAN (*VLAN Map*). Los servicios se crearán en este mismo menú, pulsando en la pestaña *Services* (Figura 23). Desde este mismo menú principal también se crearán los mapeados de ancho de banda y los mapeados VLAN, desde las pestañas *Bandwidth Maps* (Figura 24) y *VLAN Maps* (Figura 25), respectivamente. En las pestañas *Multicast Packs* y *Multicast Channels* se configuran los servicios de vídeo. En este caso, la pestaña *VoIP Servers* no se utilizará porque no se dispone de un servidor de telefonía.

GPON Management System									
Devices Profiles Subscribers Alarms Log Configuration Disconnect									
Profiles Services Bandwidth Maps VLAN Maps VoIP Servers Multicast Packs Multicast Channels									
+	Profile	FEC	RF	Service	Service Type	PPTP ID	Bandwidth Map	VLAN Map	6
	Internet y Video	No	No	Internet_833	Eth	UNI-0	BW_Internet	VLAN_Servidor_DHCP	✗
				IPTV_Multicast_806	MC	UNI-0	BW_IPTV_Multicast	VLAN_IP_Estatica	
				IPTV_IGMP_806	Eth	UNI-0	BW_IPTV_IGMP	VLAN_IP_Estatica	
	Internet_806	No	No	Internet_806	Eth	UNI-0	BW_Internet	VLAN_IP_Estatica	✗
	Internet_833	No	No	Internet_833	Eth	UNI-0	BW_Internet	VLAN_Servidor_DHCP	✗
	Vacio	No	No						✗
	Video_806	No	No	IPTV_Multicast_806	MC	UNI-0	BW_IPTV_Multicast	VLAN_IP_Estatica	✗
				IPTV_IGMP_806	Eth	UNI-0	BW_IPTV_IGMP	VLAN_IP_Estatica	
	Video_833	No	No	IPTV_IGMP_833	Eth	UNI-0	BW_IPTV_IGMP	VLAN_Servidor_DHCP	✗
				IPTV_Multicast_833	MC	UNI-0	BW_IPTV_Multicast	VLAN_Servidor_DHCP	

Figura 22. Apartado *Profiles* dentro del menú principal *Profiles*

GPON Management System

Devices

Profiles

Subscribers

Alarms

Log

Configuration

Disconnect

Profiles

Services

Bandwidth Maps

VLAN Maps

VoIP Servers

Multicast Packs

Multicast Channels

+	Service	Service Type	Bandwidth Map	VLAN Map	6
	Internet_806	Ethernet	BW_Internet	VLAN_IP_Estatica	
	Internet_833	Ethernet	BW_Internet	VLAN_Servidor_DHCP	
	IPTV_IGMP_806	Ethernet	BW_IPTV_IGMP	VLAN_IP_Estatica	
	IPTV_IGMP_833	Ethernet	BW_IPTV_IGMP	VLAN_Servidor_DHCP	
	IPTV_Multicast_806	Multicast	BW_IPTV_Multicast	VLAN_IP_Estatica	
	IPTV_Multicast_833	Multicast	BW_IPTV_Multicast	VLAN_Servidor_DHCP	

GPON Management System

DevicesProfilesSubscribersAlarmsLogConfigurationDisconnect

ProfilesServicesBandwidth MapsVLAN MapsVoIP ServersMulticast PacksMulticast Channels

	VLAN	User - Priority	User - Tag	C - Priority	C - Tag	S - Priority	S - Tag	2
	VLAN_IP_Estatica	Any	806	Copy	806	Untagged	Untagged	✕
	VLAN_Servidor_DHCP	Any	833	Copy	833	Untagged	Untagged	✕

Active Alarms										
Alarm History										
Event Log										
<div> <div>20/01/2015</div> <div> <input type="text" value="Filter alarms"/> <div> <div></div> <div></div> </div> </div> </div>										
OLT			ONT		Activation		Deactivation		Active Alarm	
ID	Dev	Port	ID	Serial Number	Day	Time	Day	Time	Alarm	Freq.
SmartOLT_1 00:09:58:dd:00:00	-	-	?	0x0000000000000000	2015-01-20	12:50:37	2015-01-20	12:51:37	Test Alarm	>1/min
SmartOLT_1 00:09:58:dd:00:00	-	-	?	0x0000000000000000	2015-01-20	12:28:00	2015-01-20	12:29:00	Test Alarm	>1/min
SmartOLT_1 00:09:58:dd:00:00	0	3	0	0x544c524900000599	2015-01-20	10:36:48	2015-01-20	10:37:48	Loss of GEM Channel Delineation	>1/min

Figura 27. Captura del Menú *Alarms*

En el menú *Log* aparece un registro de todas las acciones realizadas en el TGMS, como se muestra en la Figura 28. Se clasifican de la siguiente manera:

- Provisioning: en esta categoría se encuentra toda acción (creación, modificación,...) relacionada con los perfiles, y por lo tanto también con los servicios, anchos de banda, etc.
- OLT Configuration: cambios en el *firmware* y en el número de serie de la OLT.
- OLT Sync: sincronización entre OLT y TGMS.
- Configuration: relativo a la gestión de usuarios.

<div> <div>20/01/2015</div> <div> <input type="text" value="Filter events"/> <div> <div></div> <div></div> </div> </div> </div>										
Time	Event								Type	
2015-01-20 13:04:35	CONFIGURATION SENT TO OLT 'SmartOLT_1' located in 10.10.169.172 'root' [master]								OLT Sync	
2015-01-20 13:04:30	MODIFIED Multicast Provision for SmartOLT_1 > Dev: 0 > chn: 3 > UNI-0 > IPTV_Multicast 'root' [master]								Provisioning	
2015-01-20 13:04:18	MODIFIED ONT '0' (0) in OLT:SmartOLT_1 > dev:0 > ch:3 'root' [master]								Provisioning	
2015-01-20 13:00:37	CONFIGURATION SENT TO OLT 'SmartOLT_1' located in 10.10.169.172 'root' [master]								OLT Sync	
2015-01-20 13:00:29	MODIFIED ONT '0' (0) in OLT:SmartOLT_1 > dev:0 > ch:3 'root' [master]								Provisioning	
2015-01-20 12:59:42	CONFIGURATION SENT TO OLT 'SmartOLT_1' located in 10.10.169.172 'root' [master]								OLT Sync	

Figura 28. Menú *Log*

Finalmente, el menú *Configuration* es el menú de configuración del propio TGMS, desde el que se gestionan los usuarios y la seguridad. Desde aquí también se

configurará la hora, la fecha, el uso horario, etc. Este menú se muestra en la Figura 29. Permite acceder al menú *Server Configuration*, desde donde se actualiza la versión del TGMS y el *firmware* de los OLT y las ONUs.

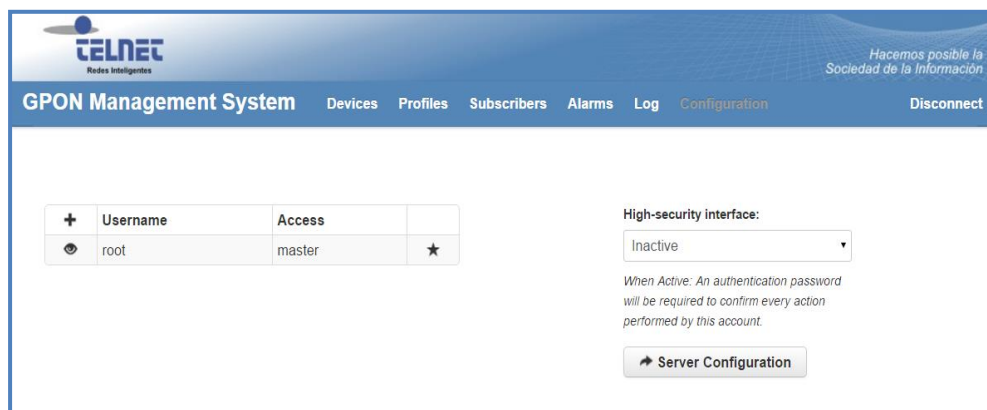


Figura 29. Menú *Configuration*

2.5 Conclusiones

La red de acceso óptica que se encuentra en el laboratorio cuenta con todos los elementos y dispositivos para gestionar y proporcionar diferentes servicios, tales como el acceso a Internet, televisión o telefonía a múltiples usuarios. Esta red sigue el estándar GPON que permite grandes tasas de datos, tanto en sentido de bajada como de subida, con unas pérdidas muy bajas.

Por otro lado, se ha descrito uno de los modos de gestión de la red GPON proporcionado por el fabricante, el TGMS (*TELNET GPON Management System*). Este modo de gestión de la red de acceso es muy sencillo, visual e intuitivo, y se realiza a través de una interfaz web. Sin necesidad de conocer el estándar GPON, en el que se basa el funcionamiento de la red, se pueden configurar los servicios y crear los perfiles de abonado de manera muy fácil. Un esquema básico de la creación de un servicio sería en primer lugar crear los mapeados VLAN y los mapas de ancho de banda, después crear el servicio que llevará asociados los anteriores anchos de banda y mapeados VLAN, y por último, se crean los perfiles de usuario que pueden tener asociados varios servicios. Los perfiles de usuario se asignarán después a tantas ONUs como se desee y a cada ONU se podrán conectar varios dispositivos, vía cable Ethernet o Wifi.

3

Caso de uso: Configuración de la red GPON por un proveedor de servicios

3.1 Introducción

En este capítulo, se realizará un análisis desde el punto de vista de un proveedor de servicio en España, para posteriormente llevar a cabo un caso de uso real de la red de acceso GPON.

En primer lugar, se realizará un pequeño estudio de mercado, sobre los paquetes de servicios que ofrecen los diferentes proveedores. Después, se escogerá uno de ellos y se llevará a cabo un caso de uso real a través del panel de gestión visual TGMS proporcionado por el fabricante de la red GPON. De este modo se configurará la red, lo que supone definir todas las clases servicio, perfiles de abonado y asociación de los mismos a las ONTs, como si se tratase de un proveedor real. La creación de los servicios tanto de Internet como de vídeo por parte del proveedor se describirá paso a paso en los apartados siguientes.

3.2 Análisis de tarifas y servicios de operadoras en España

A continuación, se muestran en la Tabla 1 las diferentes tarifas que ofertan algunos de los principales operadores en España, y los servicios que incluye cada una de

ellas. Para obtener esta información se ha realizado un pequeño estudio de mercado, consultando las páginas web de los diferentes proveedores de servicio: Movistar [16], Orange [17], Jazztel [18], Vodafone [19] y Yoigo [20], y escogiendo las más significativas.

OPERADOR	TARIFA	SERVICIOS
Movistar	Movistar_Tarifa1	Fibra Óptica 50Mb (no simétrica) Servicio de telefonía fija
Movistar	Movistar_Tarifa2	Fibra Óptica 50Mb simétrica Servicio de telefonía fija
Movistar	Movistar_Tarifa3	Fibra Óptica 300Mb simétrica Servicio de telefonía fija
Orange	Orange_Tarifa1	Fibra Óptica 50Mb simétrica Servicio de telefonía fija
Orange	Orange_Tarifa2	Fibra Óptica 300Mb simétrica Servicio de telefonía fija
Orange	Orange_Tarifa3	Fibra Óptica 50Mb simétrica Servicio de telefonía fija Orange TV
Orange	Orange_Tarifa4	Fibra Óptica 300Mb simétrica Servicio de telefonía fija Orange TV
Jazztel	Jazztel_Tarifa1	Fibra Óptica 50Mb/5Mb Servicio de telefonía fija y móvil
Jazztel	Jazztel_Tarifa2	Fibra Óptica 300Mb simétrica Servicio de telefonía fija y móvil
Jazztel	Jazztel_Tarifa3	Fibra Óptica 50Mb/5Mb Servicio de telefonía fija y móvil Posibilidad de incluir Orange TV: a elegir entre “Orange TV futbol”, “Orange TV Cine y Series” o ambos
Jazztel	Jazztel_Tarifa4	Fibra Óptica 300Mb simétrica Servicio de telefonía fija y móvil Orange Tv Cine y Series Posibilidad de incluir Orange TV futbol
Vodafone	Vodafone_Tarifa1	Fibra Óptica 50Mb simétrica Servicio de telefonía fija y móvil Incluye servicio HBO durante 3 meses
Vodafone	Vodafone_Tarifa2	Fibra Óptica 50Mb simétrica Servicio de telefonía fija
Vodafone	Vodafone_Tarifa3	Fibra Óptica 300Mb simétricos Servicio de telefonía fija
Yoigo	Yoigo_Tarifa1	Fibra Óptica 50Mb Servicio de telefonía fija y móvil
Yoigo	Yoigo_Tarifa2	Fibra Óptica 300Mb Servicio de telefonía fija y móvil

Tabla 1. Tarifas de diferentes operadores españoles

3.3 Configuración de los dispositivos de la red GPON

Para crear cualquier servicio o perfil de abonado primero se deben configurar los elementos activos de la red GPON (OLT y ONUs) a través del TGMS. Para llevar a cabo este proceso, en primer lugar se deberá activar el modo de gestión TGMS. El procedimiento será el siguiente:

1. Arrancar la máquina virtual desde Oracle VM VirtualBox, seleccionando la máquina virtual “TGMS” y pulsando iniciar (este proceso tarda unos minutos).
2. Cuando el TGMS esté operativo se podrá acceder a su interfaz visual desde una de las siguientes direcciones IP: *http://172.26.128.1* o *http://192.168.56.99*, a través del navegador web (Firefox o Chrome).
3. Se introducirán los datos de acceso, que son los siguientes: Login: root y Password: management. Una vez que los datos son introducidos aparecerá el menú principal del TGMS, tal y como se muestra en la Figura 30.

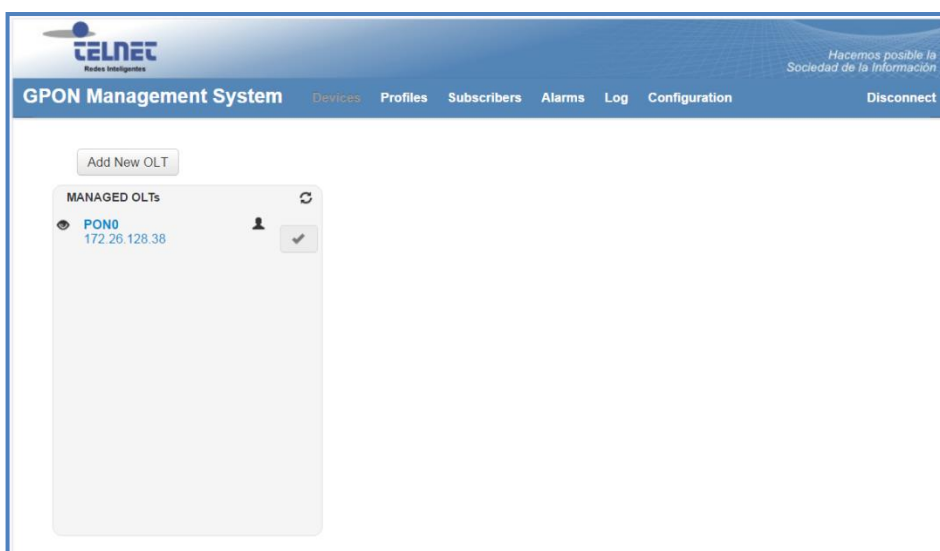



Figura 30. Pantalla de inicio del TGMS

3.4 Caso de uso real: Configuración de un Servicio de Internet en la red GPON

Una vez realizado el análisis de tarifas y servicios ofrecidos por los diferentes operadores en España (Tabla 1), se va a llevar a cabo la configuración de los diferentes servicios agrupados en perfiles de abonado desde el interfaz del TGMS, como lo haría el proveedor de servicios u operador. Sin embargo, cabe destacar que no se va a configurar el servicio de telefonía para ninguna de las tarifas, ya que no disponemos de un servidor para ello. El proveedor de servicios que se utilizará para la realización de este ejemplo será Jazztel, ya que tiene unas tarifas muy completas, con variedad de servicios en todas ellas.

3.4.1 Configuración del servicio de Internet en el TGMS

En primer lugar se seleccionará una de las tarifas de la Tabla 1, en este caso, la tarifa “*Jazztel_Tarifa2*”, para proporcionar servicio de conexión a Internet. Ahora, se creará un perfil de abonado con las características de esta tarifa, de la manera siguiente:

1. Crear un mapeado VLAN. Para crear el mapeado VLAN se accederá al menú “*Profiles*” en el menú principal del TGMS. En dicho menú se seleccionará la pestaña “*VLAN Maps*” (Figura 31). Para añadir un nuevo mapeado VLAN se deberá que pulsar el icono  y establecer los valores de los siguientes campos, tal y como se muestra en la Figura 32:
 - *VLAN ID*: es el nombre que identifica el mapeado VLAN. En este caso será “*VLAN_Servidor_DHCP*”.
 - *User-Priority*: se selecciona el valor *Any*.
 - *User-Tag*: se utilizará el valor 833, las direcciones IP las establecerá el servidor DHCP.
 - *C-Priority*: se seleccionará el valor *Copy*.
 - *C-Tag*: se utilizará el mismo valor que para *User-Tag*.
 - *S-Priority/S-Tag*: se seleccionará el valor *Untagged*.

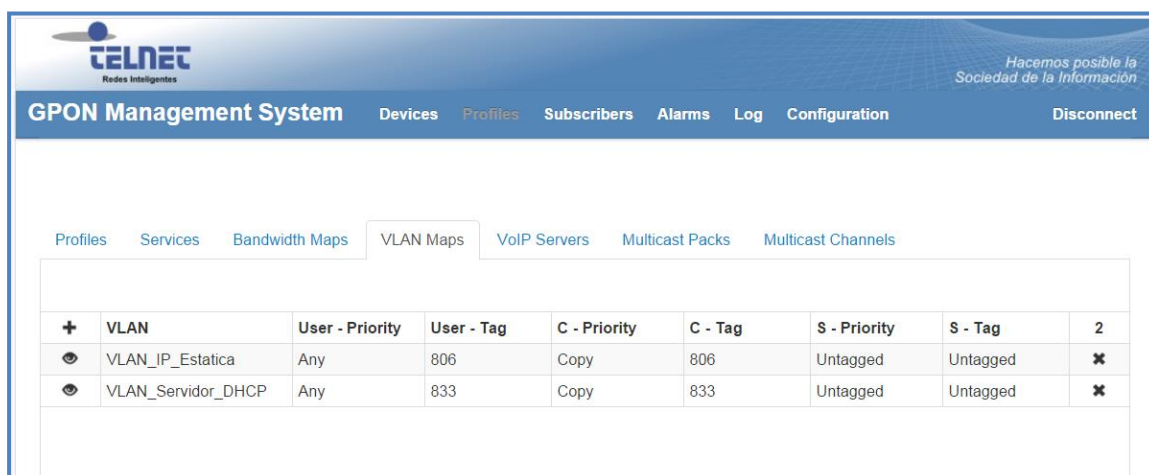


Figura 31. Menú *VLAN Maps*

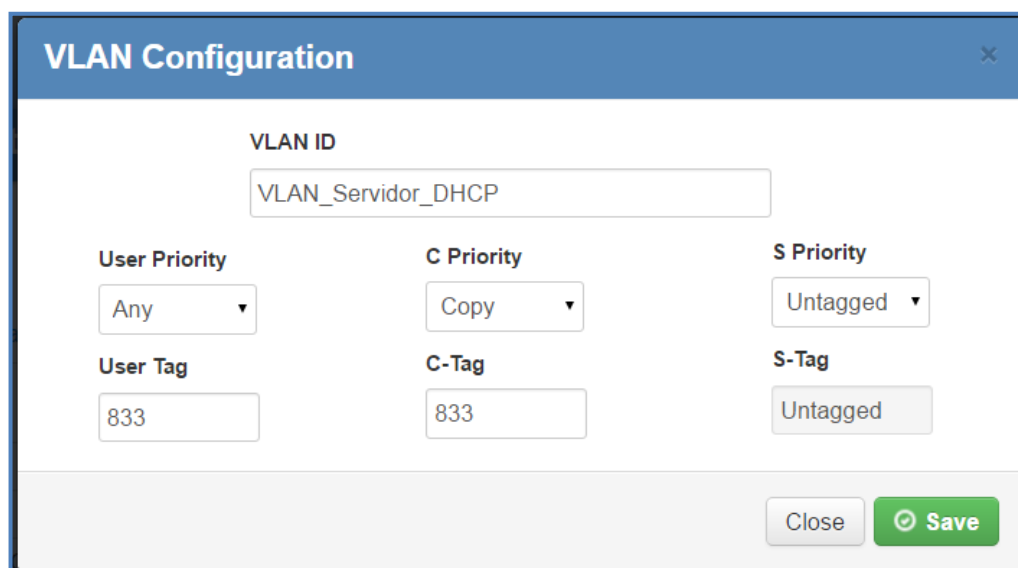
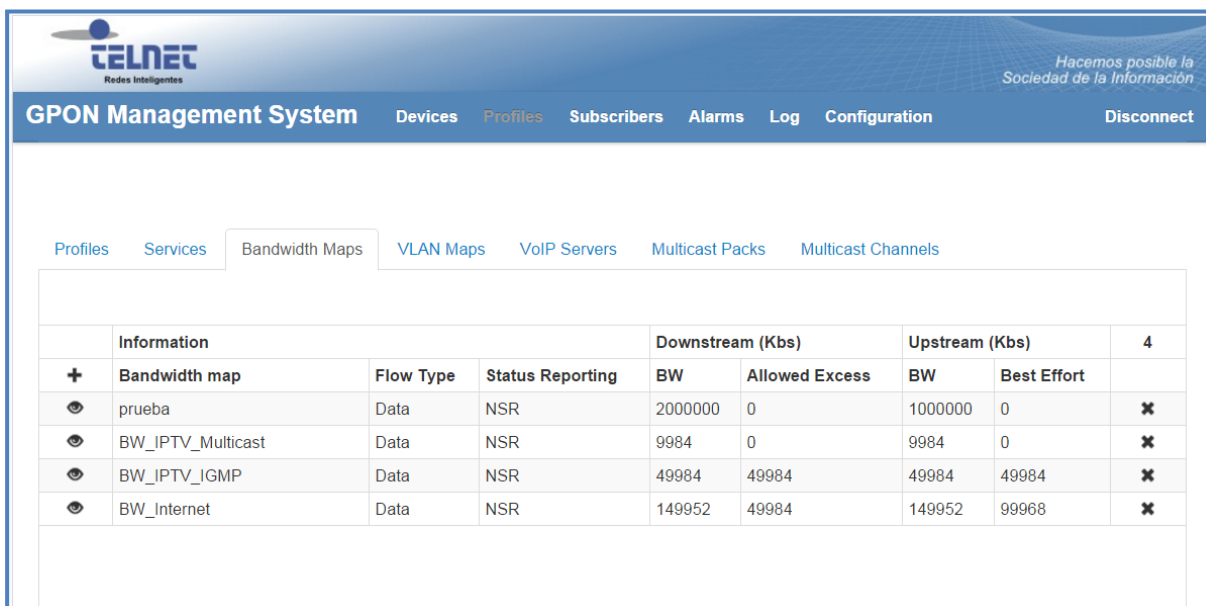


Figura 32. Configuración del mapeado VLAN

2. Crear un mapeado de ancho de banda (asociar un ancho de banda al servicio). Para crear el mapeado de ancho de banda se accederá al menú “Profiles” de nuevo y en este menú se seleccionará la pestaña “Bandwidth Maps” (Figura 33). En la red GPON la comunicación es bidireccional, con una tasa máxima diferente para cada sentido, es decir, 2,488 Gbps de bajada y 1,244 Gbps de subida. El TGMS controla el valor asignado al ancho de banda total en la red para no superar esas tasas de datos. Para añadir un nuevo mapeado de ancho de banda habrá que pulsar el icono

✚ situado en la parte izquierda superior de la Figura 33 y establecer los valores de los siguientes campos en la ventana “*Bandwidth Maps Configuration*”, tal y como se muestra en la Figura 34:

- *Bandwidth map ID*: es el nombre que identifica el mapeado de ancho de banda. En este caso será “BW_Jazztel_Tarifa2”.
- *Status Reporting*: determina el algoritmo DBA empleado, que asigna el ancho de banda en exceso. Se selecciona el valor NSR (Non-Status-Reporting). Este valor implica que las ONUs no envían información del estado de sus colas de manera periódica al OLT, que es el que asigna el ancho de banda.
- *Flow type*: se refiere el flujo de datos que soporta, en este caso datos, por lo que se seleccionará el valor *Data*.
- *Upstream guaranteed BW/Best Effort Excess*: se refiere al ancho de banda garantizado y en exceso en sentido de subida. Para la tarifa elegida el ancho de banda garantizado será de 300Mb. El ancho de banda en exceso tendrá valor 0 ya que es un parámetro que el operador no especifica. Se ha de tener en cuenta que los valores introducidos se redondean a múltiplos de 64Kbps.
- *Downstream guaranteed BW/ Best Effort Excess*: se refiere al ancho de banda garantizado y en exceso en sentido de bajada. La tarifa elegida proporciona un servicio simétrico, por lo que los valores serán los mismos que en el sentido de subida.

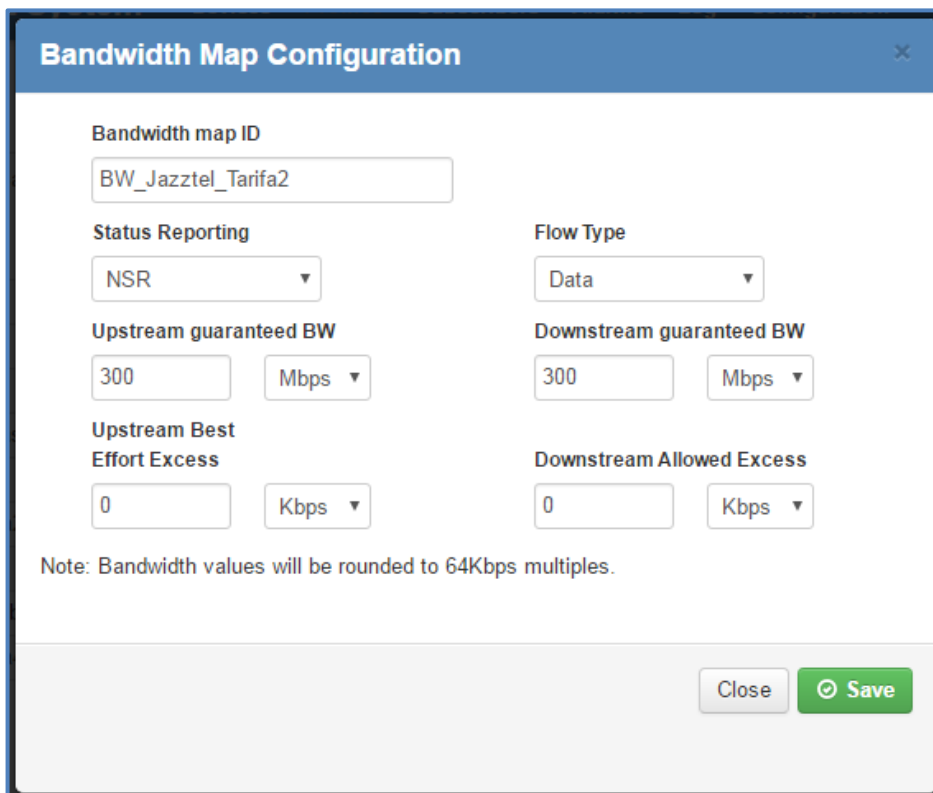


GPON Management System Devices Profiles Subscribers Alarms Log Configuration Disconnect

Profiles Services **Bandwidth Maps** VLAN Maps VoIP Servers Multicast Packs Multicast Channels

Information				Downstream (Kbs)		Upstream (Kbs)		4
+	Bandwidth map	Flow Type	Status Reporting	BW	Allowed Excess	BW	Best Effort	
👁	prueba	Data	NSR	2000000	0	1000000	0	✖
👁	BW_IPTV_Multicast	Data	NSR	9984	0	9984	0	✖
👁	BW_IPTV_IGMP	Data	NSR	49984	49984	49984	49984	✖
👁	BW_Internet	Data	NSR	149952	49984	149952	99968	✖

Figura 33. Menú de asignación de anchos de banda en el canal ascendente y descendente
Bandwidth Maps



Bandwidth Map Configuration

Bandwidth map ID

Status Reporting:

Flow Type:

Upstream guaranteed BW: Mbps

Downstream guaranteed BW: Mbps

Upstream Best Effort Excess: Kbps

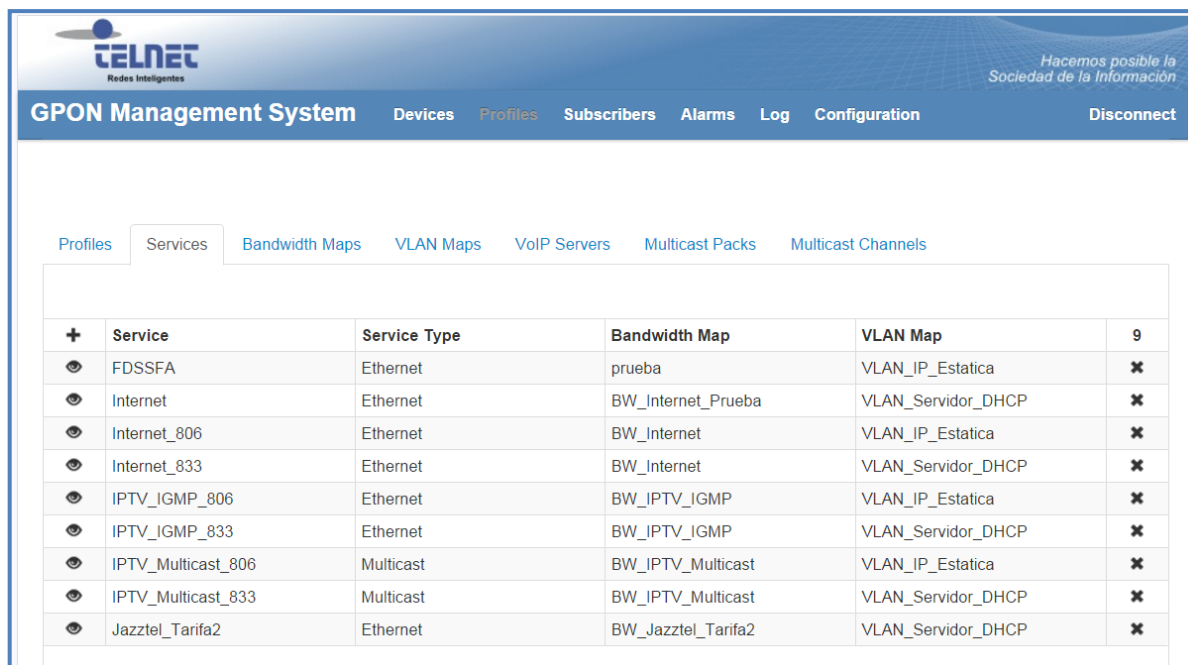
Downstream Allowed Excess: Kbps

Note: Bandwidth values will be rounded to 64Kbps multiples.

Close **Save**

Figura 34. Configuración del mapeado de ancho de banda

3. *Crear el servicio Ethernet*. Para crear el servicio se accederá al menú “Profiles” en el menú principal del TGMS. En el menú Profiles seleccionamos la pestaña “Services” (Figura 35). Para añadir un nuevo servicio debemos determinar el tipo de servicio y asignarle el mapeado VLAN y el mapeado de ancho de banda creados anteriormente, una vez pulsado el icono **+** situado en la parte izquierda superior de la Figura 35. En concreto se deberán rellenar los siguientes campos del menú “Service Configuration” que aparece en la Figura 36 (que aparece tras pulsar dicho icono **+**):
- *Service ID*: nombre del servicio. En este caso le denominaremos “Jazztel_Tarifa2”.
 - *Service Type*: se seleccionará Ethernet para proporcionar acceso a Internet (servicio de datos).
 - *Bandwidth Map Listing*: se escogerá el mapeado de ancho de banda que se ha creado anteriormente (BW_Jazztel_Tarifa2).
 - *VLAN Map*: se elegirá el mapeado VLAN que se ha creado anteriormente, con su nombre correspondiente (VLAN_Servidor_DHCP).



+	Service	Service Type	Bandwidth Map	VLAN Map	9
	FDSSFA	Ethernet	prueba	VLAN_IP_Estatica	✗
	Internet	Ethernet	BW_Internet_Prueba	VLAN_Servidor_DHCP	✗
	Internet_806	Ethernet	BW_Internet	VLAN_IP_Estatica	✗
	Internet_833	Ethernet	BW_Internet	VLAN_Servidor_DHCP	✗
	IPTV_IGMP_806	Ethernet	BW_IPTV_IGMP	VLAN_IP_Estatica	✗
	IPTV_IGMP_833	Ethernet	BW_IPTV_IGMP	VLAN_Servidor_DHCP	✗
	IPTV_Multicast_806	Multicast	BW_IPTV_Multicast	VLAN_IP_Estatica	✗
	IPTV_Multicast_833	Multicast	BW_IPTV_Multicast	VLAN_Servidor_DHCP	✗
	Jazztel_Tarifa2	Ethernet	BW_Jazztel_Tarifa2	VLAN_Servidor_DHCP	✗

Figura 35. Menú Services

Service Configuration

Service ID
Jazztel_Tarifa2

Service Type
Ethernet

Bandwidth Map Listing
BW_Jazztel_Tarifa


VLAN Map
VLAN_Servidor_Dt

Information		DS (Kbps)		US (Kbps)	
Type	Report	BW	Excess	BW	BE
Data	NSR	299968	9984	299968	9984

User		C		S	
Prio	Tag	Prio	Tag	Prio	Tag
Any	833	Copy	833	Untagged	Untagged

Close Save

Figura 36. Configuración del servicio

4. Crear el perfil de abonado, al que se asociarán uno o varios servicios. Para ello se accederá al menú “Profiles” de nuevo. Para añadir un nuevo perfil se pulsará el icono  dentro de dicho menú y se establecerán los valores de los siguientes campos, tal y como se muestra en la Figura 37:

- *ONU Profile ID*: nombre del perfil. En este caso le llamaremos “Profile_Jazztel_T2”.
- *Service*: se seleccionará el servicio creado anteriormente, introduciendo su nombre, es decir, “Jazztel_Tarifa2”.
- *FEC*: este campo determina si se desea activar la corrección de errores. En este caso se elegirá *Disabled*.
- *RF Port*: este campo determina si la salida de radiofrecuencia de la ONUs está activa. En este caso se elegirá *Disabled*.






Una vez hemos establecido el valor de todos los campos, se pulsará el icono  que se visualiza en dicha pantalla para añadir el servicio y guardando el perfil quedará creado.

Figura 37. Configuración de un perfil de servicios

5. Asignar el perfil de abonado a una de las ONUs. Para llevar a cabo dicha asignación, se accederá al menú “Devices” (Figura 38). Pulsando sobre “PON0”, después “Port: 0” y en el icono  se accede al menú que nos muestra todas las ONUs registradas en el puerto 0 junto con su estado (Figura 39). Aquí, en el menú de configuración de la ONU (Figura 40), que se abre pulsando el icono , se seleccionará el perfil de abonado que hemos creado (en el campo *Profile*) y lo asociamos a dicha ONU pulsando el botón . Después, de nuevo en el menú “Devices” del TGMS se pulsará el icono  (Figura 38) para sincronizar el TGMS con el OLT y así se actualizará el estado de la red y de las nuevas ONUs configuradas.

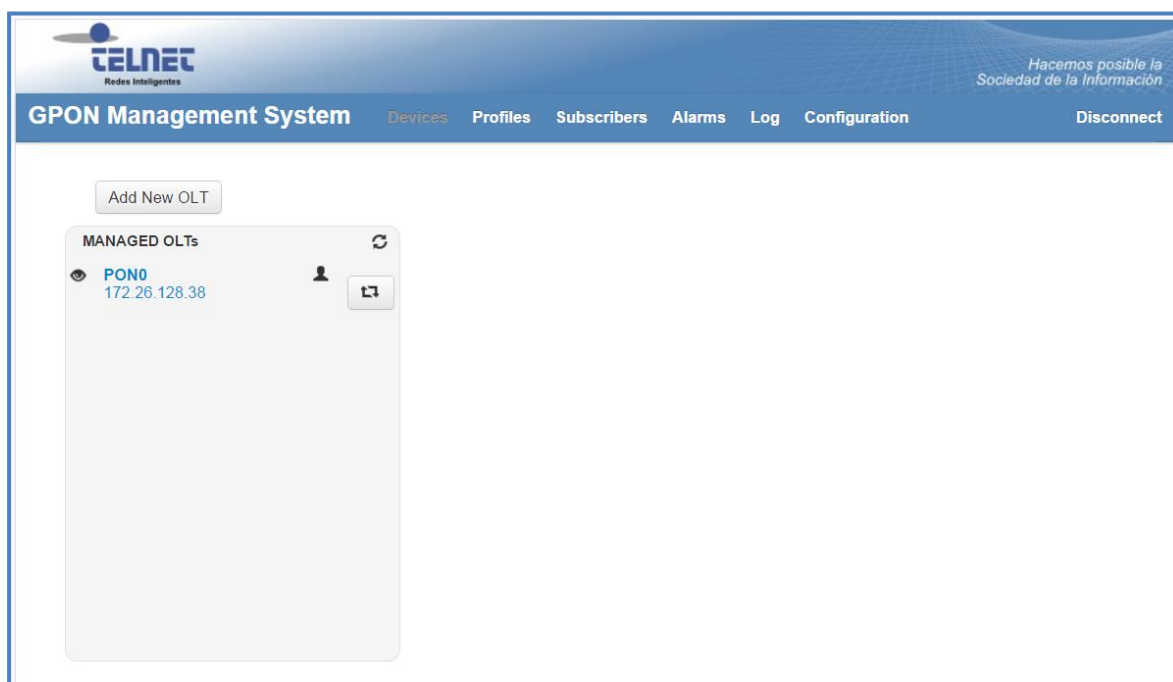


Figura 38. Menú principal *Devices* para sincronizar y actualizar el estado de la red

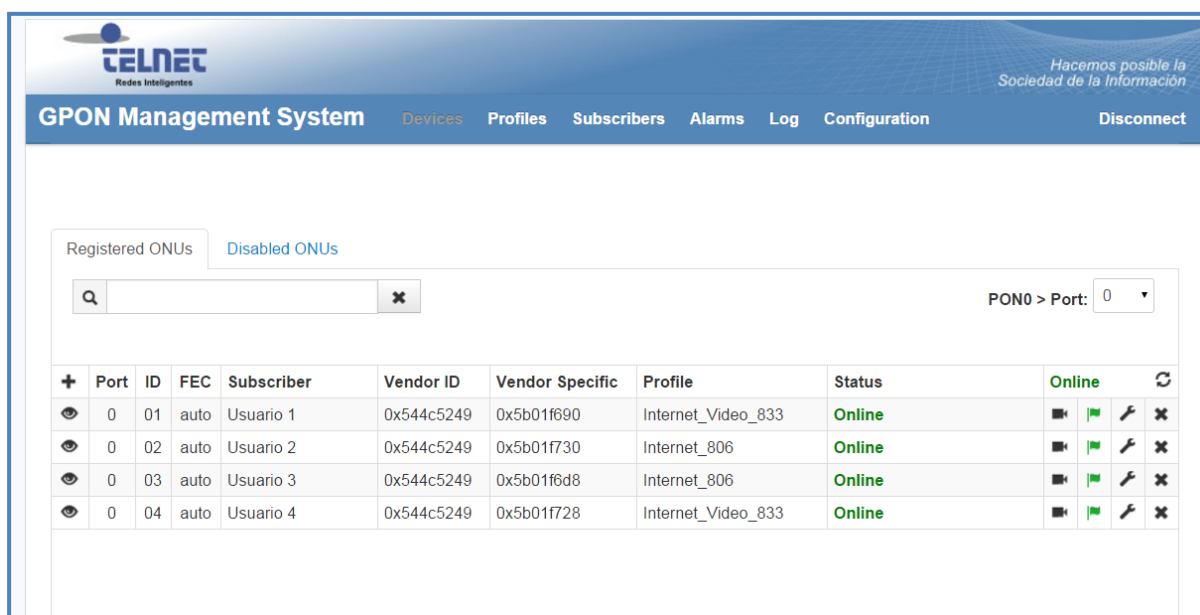


Figura 39. Menú donde aparecen las ONUs registradas junto con su estado y características del perfil de servicios asociados

The image shows a web-based configuration window titled "ONU Configuration". It contains several input fields and dropdown menus for configuring an ONU. The fields are organized into two main columns.

Field Name	Value
ONU ID	02
Vendor ID	0x544c5249
Specific ID	0x5b01f730
FEC	default
RF PORT (If present)	default
Profile	Jazztel_Tarifa2
Subscriber	Usuario 2
Signal Degraded Threshold	Bit Error Rate (BER) - 10 ⁻⁵
Signal Fail Threshold	Bit Error Rate (BER) - 10 ⁻³
Lower Optical Threshold	Default - - dBm
Upper Optical Threshold	Default - - dBm

At the bottom right, there are two buttons: "Close" and "Save".

Figura 40. Menú de configuración de la ONU

3.4.2 Configuración del servicio de Internet en el router de la ONU

Una vez configurado el servicio en el TGMS, es necesario configurar el router integrado en las ONUs (son de nivel 3, modelo *WaveAccess 3021*) [12] para disponer de servicio de Internet. Actualmente, la red GPON dispone de 4 ONUs que tendrán un identificador de ONU de 01 a 04 según la etiqueta local que tienen colocada encima (el identificador se puede cambiar en el panel de gestión de ONUs). En este paso es necesario configurar el router integrado en la ONU elegida para disponer del servicio de Internet. En este caso, se ha escogido la ONU 02 cuya dirección MAC es 78:3d:5b:01:f7:30. Se seguirán los siguientes pasos para configurar dichos routers a través de su interfaz web:

1. Para configurar el router hay que conectarse a la ONU, en concreto al interfaz de control web que ofrece el fabricante. Se puede acceder al mismo bien a través de un ordenador conectado por cable o bien conectándose vía Wifi a la ONU. En caso de conectarse por Wifi, en las redes inalámbricas cada ONU está identificada con el nombre

“TELNET_****”, donde **** son los últimos caracteres de su dirección mac. En este caso nos conectamos a TELNET_F730.

2. Se accederá entonces desde cualquier navegador a la interfaz web, a través de la dirección IP 192.168.1.1 (usuario: 1234 y contraseña: 1234). Tal y como se muestra en la Figura 41, se visualiza el menú “*Device Info*” en la pantalla principal.

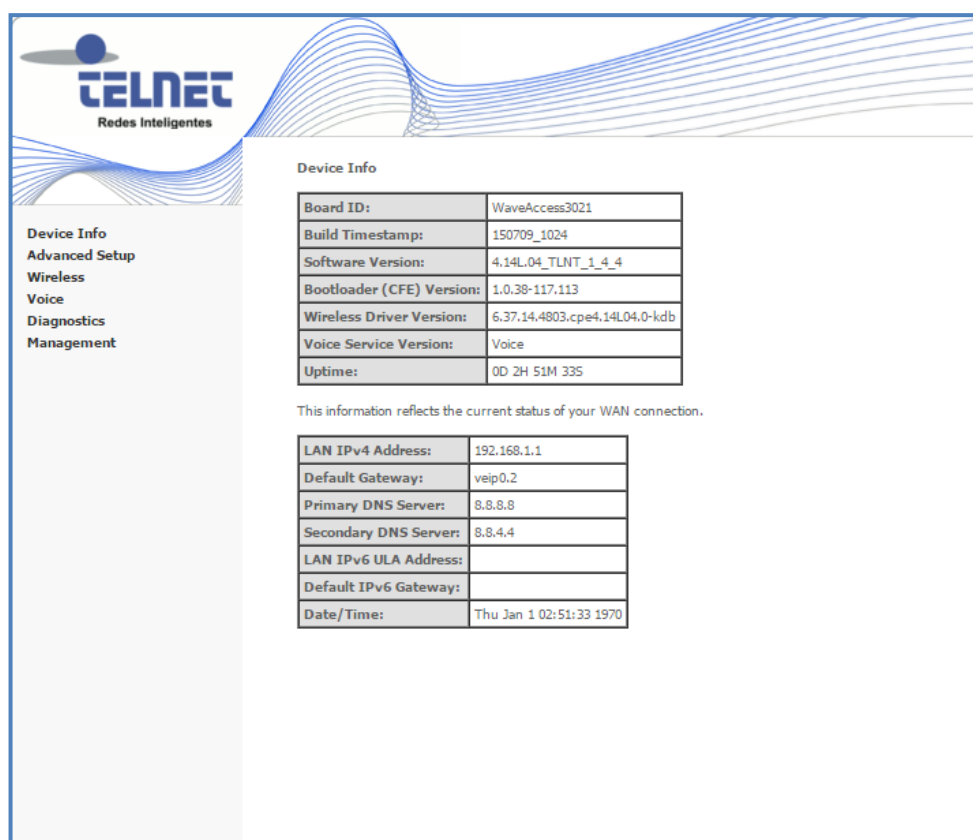


Figura 41. Menú *Device Info* del router de la ONU

3. Una vez dentro del interfaz, se accede al menú “*Advanced Setup*”, situado a la izquierda y se selecciona dentro del menú desplegable el menú “*WAN Service*”, tal y como se muestra en la Figura 42. Una vez dentro de dicho menú, se pulsa el botón “*Add*” para añadir una nueva interfaz WAN y aparecerá un nuevo menú de configuración.

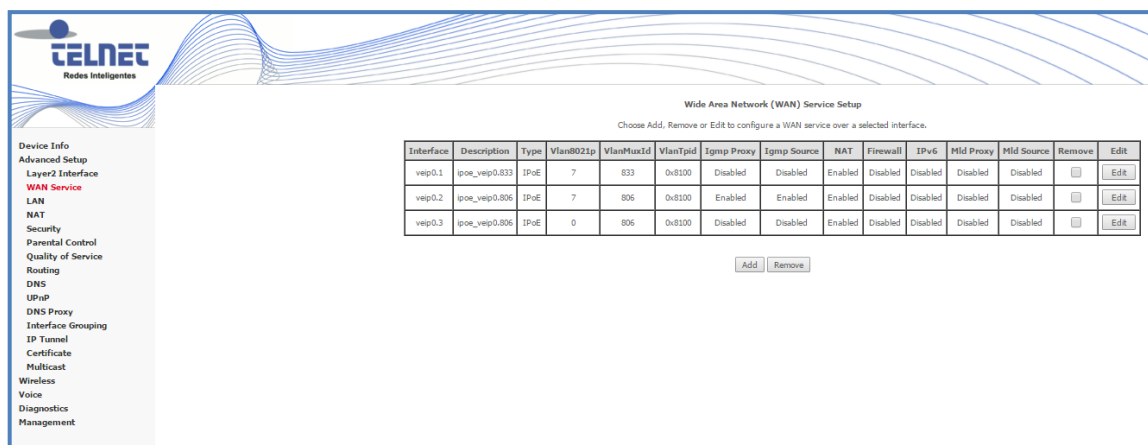


Figura 42. Menú WAN Service

- El siguiente paso es seleccionar la “WAN Service Interface Configuration”. Se seleccionará *veip0/veip0* ya que es el único valor posible, tal y como se muestra en la Figura 43.

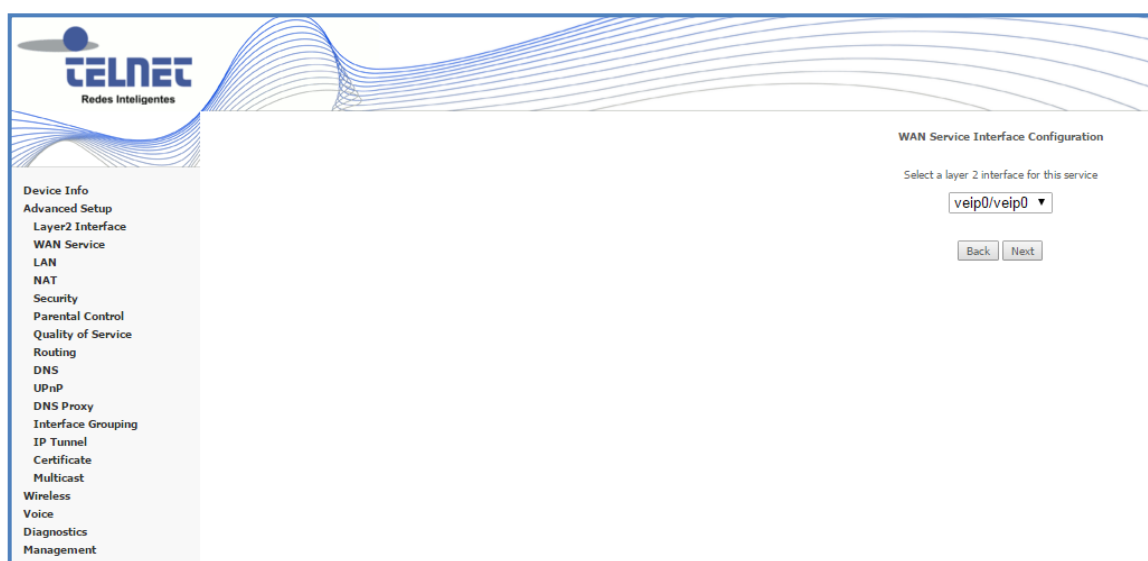


Figura 43. Menú WAN Service Interface Configuration

- Una vez pulsado el botón “Next” en la Figura 43 aparecerá un nuevo menú. En primer lugar se deberá seleccionar la configuración, en este caso *IP Over Ethernet*. Después se marcará la prioridad (valor entre 0-7) y el identificador VLAN, en este caso el 833, que corresponde al servidor DHCP. El campo *VLAN TPID (Tag Protocol Identifier)* será 0x8100, ya que se utiliza etiquetado VLAN 802.1Q. Por último, se debe especificar

que solo se utilizan direcciones IPv4. El resumen de esta configuración se muestra en la Figura 44.

The screenshot shows the 'WAN Service Configuration' page of a Telnet web interface. On the left is a sidebar menu with options: Device Info, Advanced Setup, Layer2 Interface, WAN Service (selected), LAN, NAT, Security, Parental Control, Quality of Service, Routing, DNS, UPnP, DNS Proxy, Interface Grouping, IP Tunnel, Certificate, Multicast, Wireless, Voice, Diagnostics, and Management. The main content area is titled 'WAN Service Configuration' and includes the following fields and options:

- Select WAN service type:** Three radio buttons: 'PPP over Ethernet (PPPoE)', 'IP over Ethernet' (selected), and 'Bridging'.
- Enter Service Description:** A text input field containing 'lpoe_vesp0'.
- For tagged service, enter valid 802.1P Priority and 802.1Q VLAN ID. For untagged service, set -1 to both 802.1P Priority and 802.1Q VLAN ID.**
- Enter 802.1P Priority [0-7]:** A dropdown menu showing '6'.
- Enter 802.1Q VLAN ID [0-4094]:** A dropdown menu showing '833'.
- Select VLAN TPID:** A dropdown menu showing '0x8100'.
- Network Protocol Selection:** A dropdown menu showing 'IPv4 Only'.
- Buttons:** 'Back' and 'Next' buttons at the bottom right.

Figura 44. Menú *WAN Service Configuration*

6. A continuación se pulsará el botón “Next” en dicho menú y aparecerá el menú *WAN IP Settings*. Dentro de éste (Figura 45), se marcará la opción “Obtain IP address automatically” ya que para el mapeado VLAN se ha utilizado el identificador 833, que corresponde al servidor DHCP que asignará direcciones IP de forma automática a las ONUs.

WAN IP Settings

Enter information provided to you by your ISP to configure the WAN IP settings.
 Notice: If "Obtain an IP address automatically" is chosen, DHCP will be enabled for PVC in IPoE mode.
 If "Use the following Static IP address" is chosen, enter the WAN IP address, subnet mask and interface gateway.

☒ Obtain an IP address automatically

Option 60 Vendor ID:

Option 61 IAID: (8 hexadecimal digits)

Option 61 DUID: (hexadecimal digit)

Option 125: ☒ Disable ☐ Enable

☐ Use the following Static IP address:

WAN IP Address:

WAN Subnet Mask:

WAN gateway IP Address:

Figura 45. Menú *WAN IP Settings* para configura la IP del servidor

7. A continuación (una vez pulsado el botón “*Next*”) aparecerá un nueva pantalla (menú *Network Address Translation Settings*) donde hay que activar la opción *Enable NAT* tal y como se muestra en la Figura 46, que permite la traducción entre direcciones IP públicas y privadas.

Network Address Translation Settings

Network Address Translation (NAT) allows you to share one Wide Area Network (WAN) IP address for multiple computers on your Local Area Network (LAN).

☒ Enable NAT

☐ Enable Fullcone NAT

☐ Enable Firewall

IGMP Multicast

☐ Enable IGMP Multicast Proxy

☐ Enable IGMP Multicast Source

Back Next

Figura 46. Menú *Network Address Translation Settings*

8. El siguiente paso será seleccionar la interfaz de salida que hemos creado, en este caso seleccionamos *veip0.4*, tal y como se observa en la Figura 47.

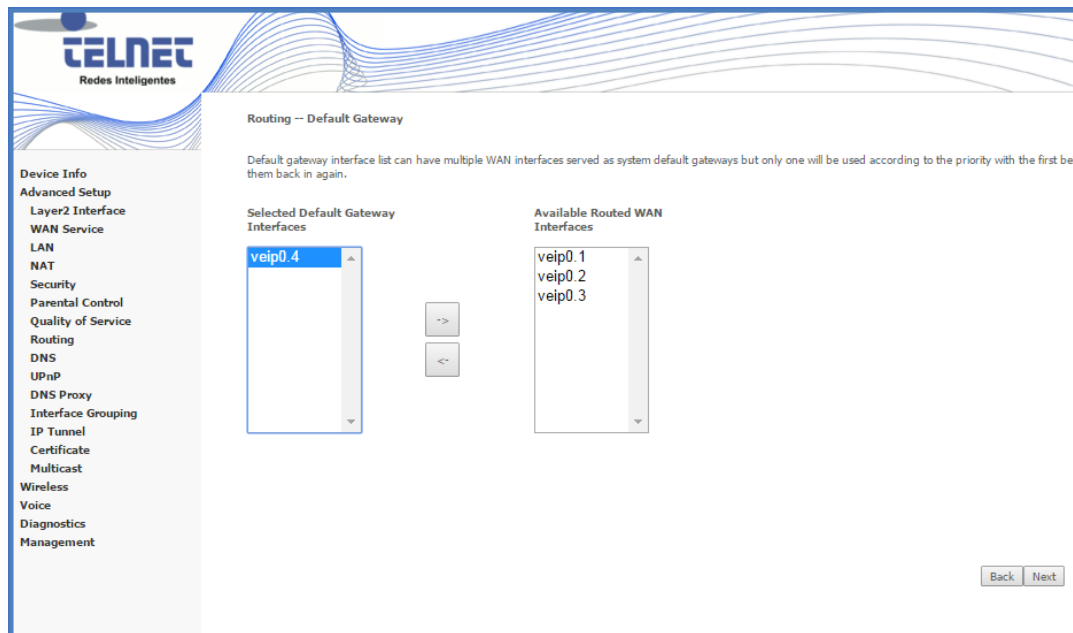


Figura 47. Selección de la interfaz de salida

9. En el apartado de los servidores DNS, que se muestra en la Figura 48, se deberá escoger “*Use the following static DNS IP address*” y rellenamos los siguientes campos:

- Primary DNS server: 8.8.8.8
- Secondary DNS server: 8.8.4.4

Estos servidores DNS proporcionados por Google se encuentran a disposición de los usuarios.

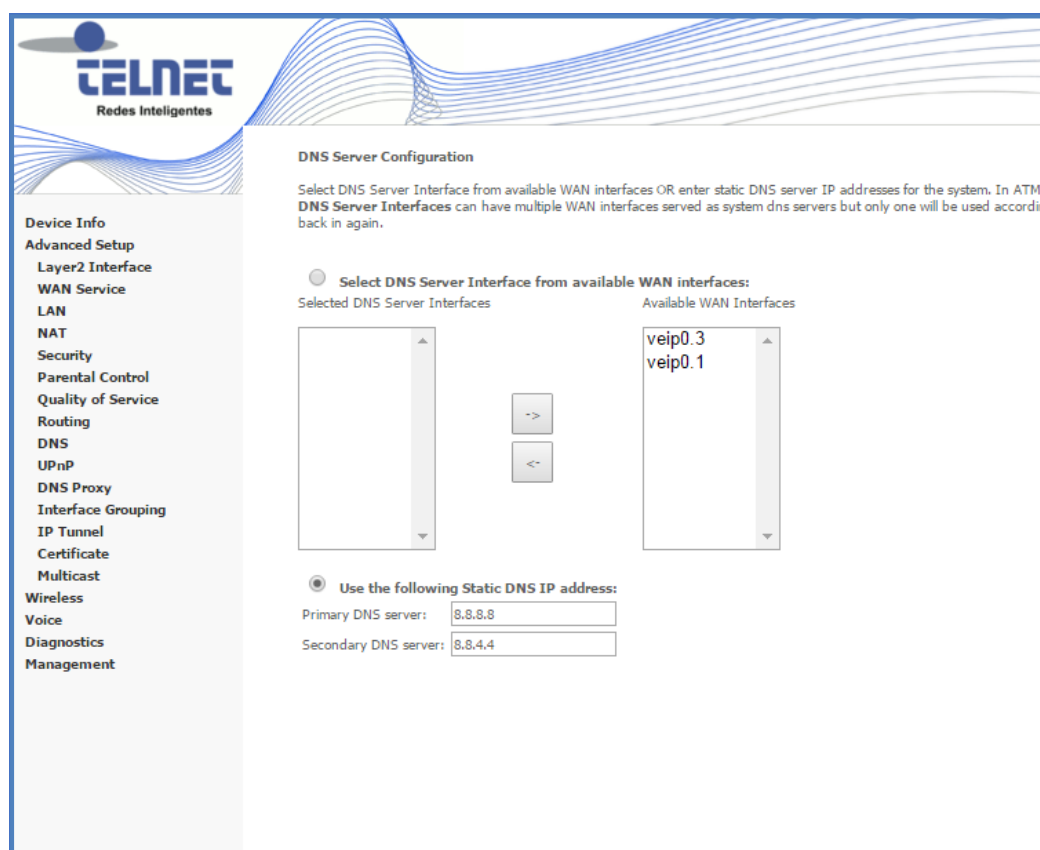


Figura 48. Configuración del servidor DNS

10. Una vez completads todos los pasos, en la última pantalla aparecerá un resumen de la configuración.

3.4.3 Reconfigurar la ONU

El último paso para completar el acceso al servicio es reconfigurar la ONU con la información que se sincronizó anteriormente entre el TGMS y el OLT. Para ello se accede de nuevo al menú del TGMS que nos muestra todas las ONUs, y en la ventana de configuración de puertos de la ONU se pulsará “Reconfigure”. Una vez hecho esto, el cliente ya dispone del servicio de Internet, tal y como se muestra en la Figura 49.

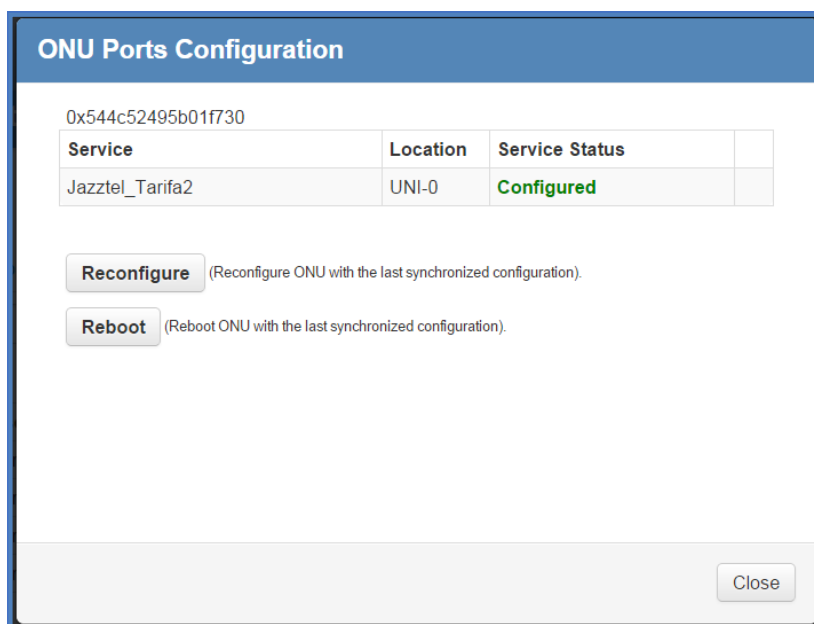


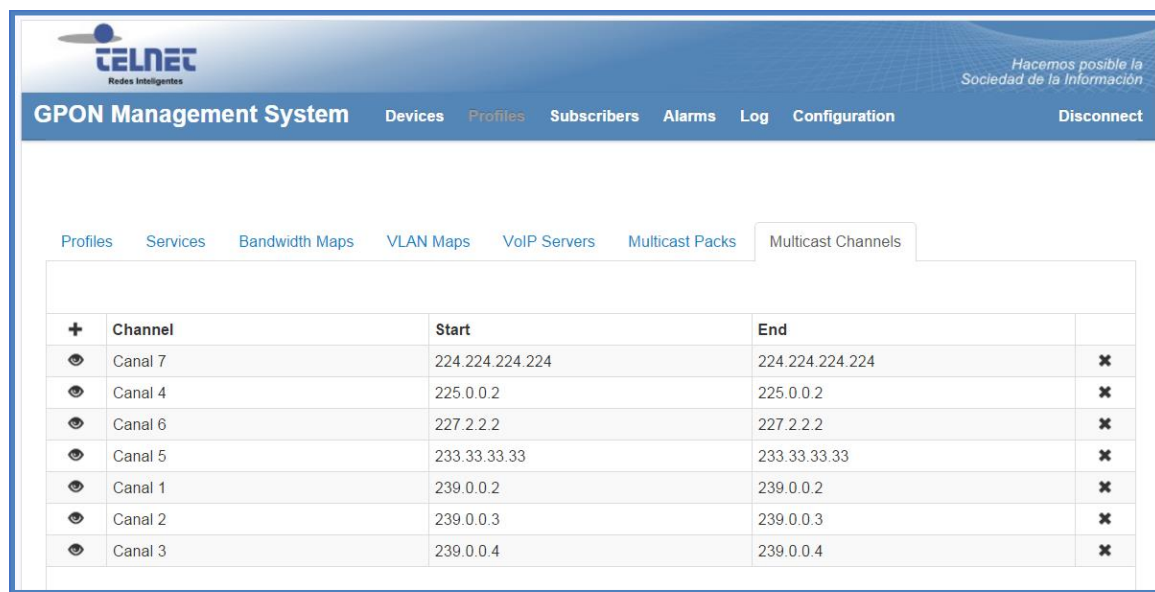
Figura 49. Menú de configuración de puertos de la ONU

3.5 Caso de uso real: Configuración de un Servicio de Video en la red GPON

3.5.1 Configuración del servicio vídeo en la interfaz del TGMS

Al igual que para la creación del servicio de Internet, habrá que escoger una tarifa, que cuente con servicios de vídeo. La tarifa seleccionada en este caso es la nombrada en la Tabla 1 como “*Jazztel_Tarifa4*”, que proporciona los mismos servicios de acceso a Internet que la tarifa “*Jazztel_Tarifa2*”, y adicionalmente servicios de vídeo. Para crear un servicio de vídeo, será necesario crear un servicio de vídeo y asociarlo a uno de Internet de forma obligatoria. A continuación se creará un perfil de abonado con las características de esta tarifa, igual que se hizo anteriormente.

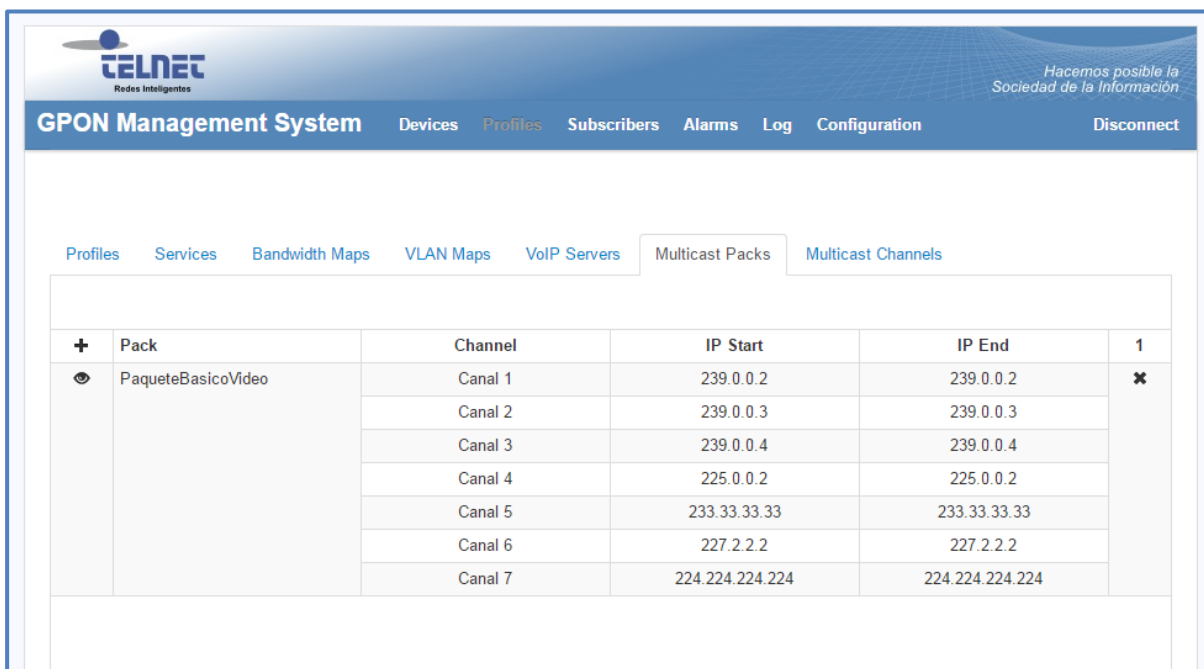
1. Configuración de los canales multicast: se accederá al menú “*Profiles*”, y dentro de éste se seleccionará la pestaña “*Multicast Channels*” (Figura 50). Aquí, pulsando el icono **+** se añaden los diferentes canales multicast, que se especifican como una dirección IP multicast, dentro del rango 224.0.0.0 – 239.255.255.255.



	+	Channel	Start	End	
		Canal 7	224.224.224.224	224.224.224.224	✕
		Canal 4	225.0.0.2	225.0.0.2	✕
		Canal 6	227.2.2.2	227.2.2.2	✕
		Canal 5	233.33.33.33	233.33.33.33	✕
		Canal 1	239.0.0.2	239.0.0.2	✕
		Canal 2	239.0.0.3	239.0.0.3	✕
		Canal 3	239.0.0.4	239.0.0.4	✕

Figura 50. Pestaña *Multicast Channels*

2. Creación de un pack de canales multicast: dentro del menú “Profiles” se accede al menú “Multicast Packs” y aparecerá una pestaña donde se crearán nuevos paquetes (conjunto de canales) pulsando el icono **+** (parte superior izquierda de dicha menú). Para asociar los canales multicast se crearán estos paquetes, que después se asociarán a los clientes. En la Figura 51 se muestra un paquete (llamado PaqueteBasicoVideo) que cuenta con 7 canales multicast asociados.



+	Pack	Channel	IP Start	IP End	1
👁	PaqueteBasicoVideo	Canal 1	239.0.0.2	239.0.0.2	✕
		Canal 2	239.0.0.3	239.0.0.3	
		Canal 3	239.0.0.4	239.0.0.4	
		Canal 4	225.0.0.2	225.0.0.2	
		Canal 5	233.33.33.33	233.33.33.33	
		Canal 6	227.2.2.2	227.2.2.2	
		Canal 7	224.224.224.224	224.224.224.224	

Figura 51. Pestaña correspondiente al menú *Multicast Packs*

3. Crear un mapeado VLAN: se realizará igual que en el apartado de creación del servicio de Internet, con una pequeña diferencia. En este caso el valor del campos *User-Tag* será 806, que corresponde con una IP estática tal y como se observa en la Figura 52. Esto es así porque en este caso el servidor de video se encuentra ubicado en un ordenador con una IP fija.

The screenshot shows a 'VLAN Configuration' window with a blue header and a close button (X) in the top right corner. The main content area is white and contains the following fields:

- VLAN ID:** A text input field containing 'VLAN_IP_Estatica'.
- User Priority:** A dropdown menu with 'Any' selected.
- C Priority:** A dropdown menu with 'Copy' selected.
- S Priority:** A dropdown menu with 'Untagged' selected.
- User Tag:** A text input field containing '806'.
- C-Tag:** A text input field containing '806'.
- S-Tag:** A text input field containing 'Untagged'.

At the bottom right of the window, there are two buttons: a grey 'Close' button and a green 'Save' button with a white circular icon.

Figura 52. Configuración mapeado VLAN IP estática

4. Creación del servicio: se realizará igual que para la creación del servicio de Internet, con algunas pequeñas diferencias como se observa en la Figura 53:
 - *Service ID*: en este caso llevará el nombre "Jazztel_Tarifa4".
 - *Service Type*: se seleccionará Multicast para proporcionar servicio de vídeo.
 - *Bandwith Map Listing*: se escogerá el mapeado de ancho de banda que se vaya a utilizar para el servicio Ethernet, en este caso "BW_Jazztel_Tarifa2". Podríamos crear uno nuevo, pero el ancho de banda es el mismo que para el servicio de Internet, por lo que vamos a reutilizar el que hemos creado para la tarifa "Jazztel_Tarifa2".
 - *VLAN Map*: se escogerá el mapeado VLAN creado en el paso anterior, denominada *VLAN_IP_Estática*.

Service Configuration

Service ID: Jazztel_Tarifa4

Service Type: Multicast

Bandwidth Map Listing: BW_Jazztel_Tarifa

VLAN Map: VLAN_IP_Estatica

Information		DS (Kbps)		US (Kbps)	
Type	Report	BW	Excess	BW	BE
Data	NSR	99968	99968	499968	499968

User		C		S	
Prio	Tag	Prio	Tag	Prio	Tag
Any	806	Copy	806	Untagged	Untagged

Close Save

Figura 53. Configuración del servicio











5. Crear el perfil de abonado: se realizará de la misma forma que para la creación del servicio Ethernet, pero en este caso habrá que añadir dos servicios al perfil. En primer lugar en *Service* se seleccionará el servicio Jazztel_Tarifa2 y se pulsará  para añadir el servicio. Después se agregará el servicio de vídeo, seleccionando Jazztel_Tarifa4 (Figura 54).

Figura 54. Configuración del perfil del servicio

6. Asignar el perfil de abonado a una de las ONUs: se accederá de nuevo al menú “Devices” (Figura 38) y se pulsará “PON 0” y después “Port 0”. Aquí, pulsando el icono  se mostrarán todas las ONUs registradas en este puerto, en este caso las cuatro ONUs conectadas a la red (Figura 39). Después, pulsando  se accede al menú de configuración de la ONU (Figura 40), donde se debe seleccionar el perfil de abonado anteriormente creado y guardar pulsando . Una vez guardada la nueva configuración se accederá de nuevo al menú “Devices”, y se pulsará el icono  para sincronizar el TGMS con el OLT.
7. Asignar el pack de canales: pulsando el icono  se abrirá el menú de configuración de puertos de la ONU, que se muestra en la Figura 55. En este menú aparecen todos los servicios asociados a la ONU, pero el servicio Multicast no estará configurado. Para configurarlo se pulsará de nuevo el icono , se seleccionará el pack de canales deseado y se añadirá pulsando , y por último se guardará pulsando . De nuevo, habrá que acceder al menú “Devices” y sincronizar la información entre el TGMS y el OLT pulsando .

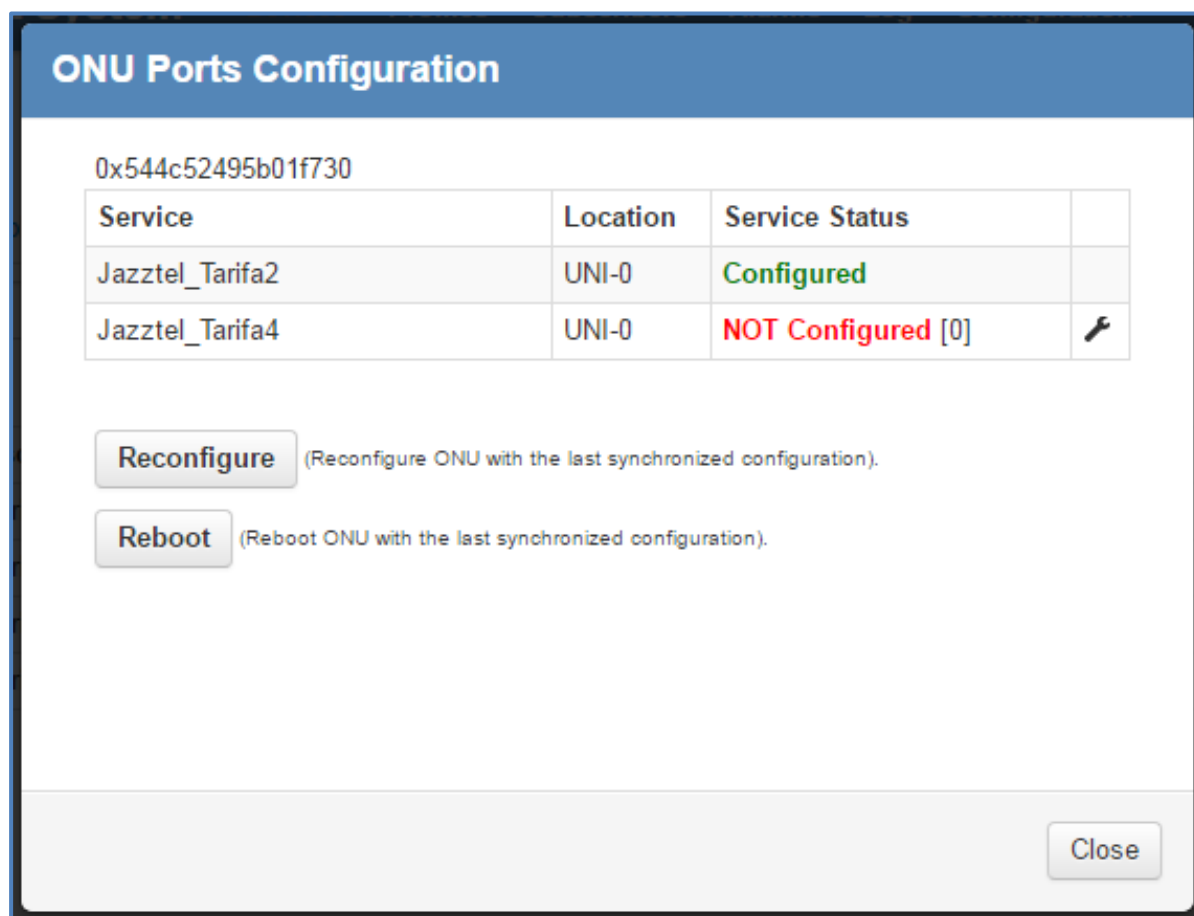


Figura 55. Menú de configuración de puertos de la ONU

3.5.2 Configuración del servicio de vídeo en el router de la ONU

La configuración del router de la ONU se realizará de la misma manera que para el servicio Ethernet, con algunas diferencias: en el paso 7 del apartado anterior (Figura 46), además de activar la opción *Enable NAT* habrá que activar la opción *Enable IGMP Multicast Proxy* como se muestra en la Figura 56. Esta opción sirve para que el tráfico de control IGMP se lleve a cabo sin problemas.

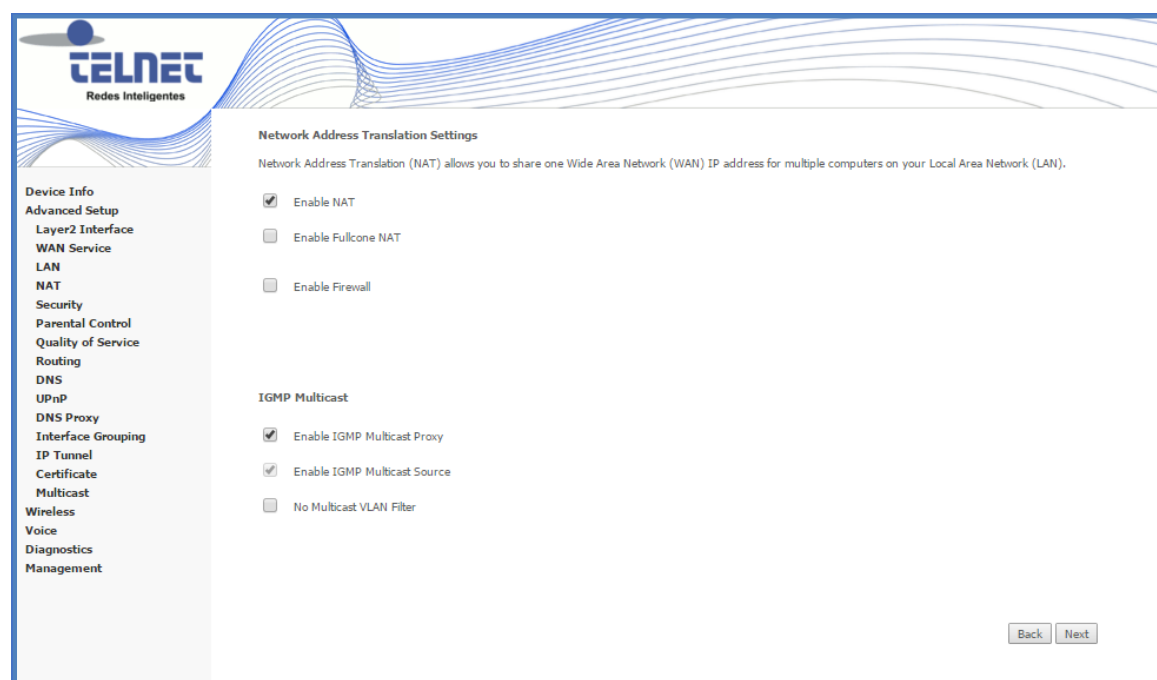


Figura 56. Configuración del router de la ONU para vídeo

3.6 Conclusiones

La red que se encuentra en el laboratorio es una red de acceso real, que nos permite configurar y proporcionar los mismos servicios que un operador de telefonía convencional. Esta red GPON tiene las capacidades y características necesarias para proporcionar los mismos servicios de acceso a internet y a diferentes canales de televisión que puede proporcionar cualquier proveedor de servicios de los mencionados en la Tabla 1. En el laboratorio no se dispone de un servidor de telefonía, pero en caso de disponer de este la red cuenta con las características necesarias para proporcionar también este servicio.

En definitiva, la red es una reproducción de una red de acceso como la que se encuentra entre un proveedor de servicio y el usuario final, y permite configurar los perfiles de abonado como lo haría el operador y proporcionar exactamente los mismos servicios con las mismas características.

4

Análisis del tesbed GPON a nivel físico mediante Optsim

4.1 Introducción

En este capítulo, se realizará un análisis a nivel físico de la red de acceso GPON analizando parámetros muy importantes, tales como la potencia óptica recibida a ambos extremos de la red o la tasa de error de bit (BER, *Bit Error Rate*). Para ello se utilizará OptSim, una herramienta software que nos permitirá realizar un diseño de la red y una simulación de propagación de la señal para medir la potencia óptica y la BER en diferentes puntos de la red. De esta manera, se podrán comparar los resultados teóricos con los obtenidos en la simulación. También se podrán comparar con la potencia óptica medida en la maqueta real GPON, tomando como referencia trabajos realizados anteriormente.

En este sentido, la potencia óptica es un parámetro esencial para el correcto funcionamiento de la red GPON, de modo que si los niveles de potencia recibida no se encuentran dentro de los límites estipulados por el fabricante tanto para el OLT como para las ONTs/ONUs, la red no será operativa. En este caso se tendrán en cuenta dos escenarios diferentes, según el sentido en el que tenga lugar la comunicación: sentido de bajada (*Downstream*) y sentido de subida (*Upstream*). Como se explicó en capítulos anteriores, en cada canal la transmisión tiene lugar en una longitud de onda diferente, lo que implica que las pérdidas y atenuación no serán las mismas en ambos sentidos de la comunicación. Esto se traduce en valores de potencia asimétricos para ambos sentidos de la comunicación.

4.2 Introducción a la plataforma de simulación Optsim

OptSim® es una herramienta *software* desarrollada por el grupo RSoft para el diseño y simulación de sistemas de comunicaciones ópticas a nivel de propagación de la señal. OptSim está disponible comercialmente desde 1998 y su uso está muy extendido en la actualidad, tanto en el ámbito académico como el industrial [23]. Con las técnicas de simulación más actuales e instrumentos de medida semejantes a los de un laboratorio experimental, esta herramienta proporciona una gran precisión, y su interfaz es muy sencilla y fácil de usar. Las características principales de OptSim son las siguientes:

- Cuenta con una herramienta de diseño con múltiples motores de aplicación que implementan cualquier arquitectura de enlace óptico, con una simulación precisa y eficiente, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.
- Incluye interfaces con herramientas de terceros, como MATLAB que facilita el desarrollo de modelos personalizados por el usuario, utilizando el lenguaje de archivos “*m*” y/o el entorno Simulink® modeling. Algunas interfaces disponibles cuentan con el equipo de pruebas de laboratorio, como Agilent y Luna, y combinan la simulación con el experimento.
- Modelado avanzado con motor eléctrico incorporando SPICE.
- Tiene una interfaz de programación de aplicaciones para el desarrollo de modelos de usuario personalizados, en lenguajes de programación como C/C++.
- Incluye una amplia biblioteca de componentes predefinidos.

OptSim se utiliza para el diseño por ordenador de sistemas de comunicación óptica que incluyen las siguientes aplicaciones, aunque no está limitado solo a estas:

- Sistemas de comunicación óptica coherente, tales como *PM-QPSK* (*Phase Modulation – Quadrature Phase Shift Keying*), *PM-BPSK* (*Phase Modulation – Binary Phase Shift Keying*), *PM-QAM* (*Phase Modulation – Quadrature Amplitude Modulation*), *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).
- Formatos de modulación avanzada, tales como *DPSK* (*Differential Phase Shift Keying*), *BPSK* (*Binary Phase Shift Keying*), etc.

- Sistemas *DWDM/CWDM* (*Dense Wavelength Division Multiplexing/Coarse Wavelength Division Multiplexing*) con amplificación óptica *EDFA* (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), *SOA* (*Semiconductor Optical Amplifier*), Raman, *OPA* (*Optical Parametric Amplifier*).
- Sistemas *FTTH/PON* (*Fiber To The Home/Passive Optical Network*): *BPON* (*Broadband Passive Optical Network*), *GPON* (*Gigabit-capable Passive Optical Network*), *WDM-PON* (*Wavelength Division Multiplexing*), *PON* coherente, etc.
- Sistemas analógicos y digitales de televisión por cable o radio sobre fibra.
- Sistemas *OCDMA/OTDM* (*Optical Code Division Multiple Access/Optical Time Domain Multiplexing*).
- Compensación de la dispersión electrónica (*EDC*, *Electronic Dispersion Compensation*).
- Interconexiones ópticas.

4.3 Análisis de potencias reales en sentido de bajada y subida en la red GPON

En capítulos anteriores se describió la arquitectura del testbed GPON del laboratorio a nivel físico, y en este capítulo se analizará la potencia óptica en ambos extremos de la red y se compararán los niveles reales del testbed con el correspondiente montaje en OtpSim de ambos canales. Aunque la fibra óptica es un medio de transmisión con una atenuación muy baja, hay que asegurarse de que la potencia óptica se mantiene a unos niveles adecuados. Esto quiere decir que su valor no podrá ser tan alto como para saturar la red, ni tan bajo que no seamos capaces de detectar la señal.

Como se ha mencionado anteriormente, la comunicación se produce en dos sentidos de forma que hay dos canales de comunicación, es decir, dos flujos de información caracterizados por parámetros diferentes. En esta primera parte del apartado, el análisis se centrará en el sentido de bajada, denominado *Downstream*.

El sentido de comunicación *Downstream* es el que va desde el el OLT hacia las ONTs/ONUs, es una comunicación punto-multipunto. La longitud de onda de transmisión es de 1490 nm, en la tercera ventana de transmisión, donde la atenuación es de 0,2-0,3 dB [3] [6]. Para comenzar, se realizará un cálculo teórico de la atenuación en el sentido de bajada, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- La distancia será de 20 kilómetros, teniendo en cuenta las 3 bobinas de fibra óptica de la red.
- Aunque la distancia entre el *splitter* y las ONUs puede alcanzar hasta 5 kilómetros en este caso no va a superar el kilómetro de distancia, por lo que se desprecia este dato en los cálculos.
- No se consideran las pérdidas por empalmes, ya que los que se encuentran en la caja de empalmes se han realizado con la fusionadora automática y las pérdidas son prácticamente cero.
- En la fórmula empleada para realizar los cálculos se tiene en cuenta que puede haber dos niveles de *splitting*, pero solo se ha considerado uno ya que la red del laboratorio sólo utiliza un *splitter* 1:8.
- Los datos de atenuación de la fibra y de los conectores son los empleados por la empresa TELNET Redes Inteligentes para realizar sus cálculos. La atenuación de la fibra para 1490 nm será 0,3 dB/km y las pérdidas introducidas por los conectores será <0,5 dB/km (para considerar el peor de los casos se tomará un valor de 0,5 dB/km) ya que las ONTs/ONUs son de clase óptica B+ [10].

La ecuación para calcular la atenuación es la que se muestra en la Ecuación 2. En este caso tendremos un *splitter* 1:8 (1 entrada y 8 salidas), por lo que su atenuación será de unos 9 dB aproximadamente. Además, se consideran 12 conectores, para realizar las siguientes uniones: una a la salida del OLT, 6 para las bobinas de fibra óptica (2 por cada bobina), dos en el *splitter* (un conector a la entrada y otro a la salida), dos en la caja de empalmes (uno de entrada y otro de salida) y uno en la entrada del ONT/ONU. El número de conectores podría variar dependiendo de las conexiones entre las bobinas de fibra óptica y en la caja de empalmes, pero se considera este número como promedio.

La atenuación de 21dB obtenida en la ecuación es el resultado de un cálculo aproximado, ya que se ha tenido en cuenta el peor caso posible, lo que nos proporciona un cierto margen. El rango de atenuación de los dispositivos de la clase óptica B+ es de 13 a 28 dB [6], rango en el que se encuentra el dato obtenido de forma teórica (21dB).

Atenuación teórica sentido Downstream

$$\begin{aligned} &= (\text{Atenuación Splitter 1} + \text{Atenuación Splitter 2}) \\ &+ \left(\text{Atenuación fibra} \frac{dB}{km} \times \text{Distancia} \right) \\ &+ (\text{Atenuación empalme} \times n^{\circ} \text{ empalmes}) \\ &+ (\text{Atenuación conectores} \times n^{\circ} \text{ conectores}) \\ &= (9dB + 0) + \left(0,3 \frac{dB}{km} \times 20 km \right) + 0 + \left(0,5 \frac{dB}{conector} \times 12 \text{ conectores} \right) \\ &= 21dB \end{aligned}$$

Ecuación 2. Cálculo de la atenuación teórica en el sentido *Downstream* de la red GPON

Para comprobar que los datos de atenuación calculados son fiables, se van a tomar como referencia los valores obtenidos en un Trabajo de Fin de Grado anterior. En este trabajo se realizó un análisis real a nivel físico con una fuente de luz, que se muestra en la Figura 57, y el medidor de potencia óptica que se puede ver en la Figura 58. La fuente de luz (*PON LIGHT SOURCE*) es del fabricante fibercom [13], y puede transmitir en tres longitudes de onda diferentes: 1310, 1490 y 1550 nm. En este caso se configurará para que transmita en 1490 nm. El medidor de potencia óptica (*OPTICAL POWER METER*) es del fabricante Haktronics [14], y puede realizar medidas en varias longitudes de onda diferentes: 820, 850, 1310 y 1550 nm. En este caso la medida se tomará en 1550 nm que es la longitud de onda más próxima a 1490 nm y tiene una atenuación similar.



Figura 57. Fuente de luz utilizada en las mediciones reales



Figura 58. Medidor de potencia óptica utilizada en las mediciones reales

En primer lugar, se configuró la fuente de luz y el medidor de potencia óptica en 1490 nm y 1550 nm, respectivamente. La potencia medida obtenida real fue de -2,29 dBm, valor que se toma como referencia. Para medir la atenuación en el sentido de bajada se desconectó el OLT, y en su lugar se conectó la fuente de luz. El medidor muestra una potencia de -20,65 dBm. Por lo tanto, la atenuación extremo a extremo en el sentido de bajada será de $-2,29 \text{ dBm} - (-20,65 \text{ dBm}) = 18,36 \text{ dB}$. El valor teórico obtenido para esta atenuación era 21 dB, pero se ha de tener en cuenta que se escogieron los valores más altos (más restrictivos) tanto para la atenuación en la fibra como para las pérdidas de los conectores, que superan los valores reales. De esta manera, se puede observar que los resultados teóricos y prácticos son muy similares y se encuentran dentro de los límites de atenuación establecidos en la clase óptica B+ (13-28 dB) [6].

Del mismo modo, usando el medidor de potencia óptica también se comprobó la potencia a la que transmiten el OLT y las ONUs, valor necesario para hacer los cálculos completos extremo a extremo. Según los datos proporcionados por el fabricante [8] el OLT transmite entre 1,5 y 5 dBm. Conectando el medidor a la salida del OLT se obtuvo un valor en torno a 1,75 dBm. Teóricamente, las ONUs transmiten entre -0,5 y 5 dBm [11]. Conectando el medidor a la salida de las ONUs, se obtuvo un valor aproximado de 2 dBm. Por lo tanto, se puede concluir que los valores medidos están dentro del rango estipulados por el fabricante de los dispositivos.

Por otro lado, el TGMS (*TELNET GPON Management System*) [4], modo de gestión descrito en capítulos anteriores, permite también visualizar los valores de potencia reales recibidos por el OLT y por las ONUs. En la Tabla 2 se recogen los valores que muestra el TGMS, que permitirán comprobar que los cálculos realizados en este apartado se ajustan a la realidad. Igual que para los cálculos anteriores, se está tomando en cuenta una distancia de 20 kilómetros entre el OLT y el *splitter* (tres bobinas conectadas). La distancia entre el *splitter* y cada una de las ONUs es diferente, pero se trata de distancias tan pequeñas (distancia inferior a 1 kilómetro) que pueden despreciarse en los cálculos [6].

ONU	Distancia entre splitter y ONU	Potencia recibida por el OLT	Potencia recibida por la ONU
0	100 metros	-17,59 dBm	-16,36 dBm
1	500 metros	-17,93 dBm	-15,88 dBm
2	300 metros	-17,10 dBm	-16,17 dBm
3	100 metros	-17,54 dBm	-16,86 dBm

Tabla 2. Potencias reales recibidas por el OLT y las ONUs y recibidas en el TGMS

Como ya se ha mencionado anteriormente el sentido *Downstream* corresponde a la potencia recibida por las ONTs/ONUs. El OLT transmite a un valor real aproximado de 1,75 dBm y la atenuación medida real era de 18,36 dB, por lo tanto, la potencia recibida por la ONU será de aproximadamente $1,75 \text{ dBm} - 18,36 \text{ dB} = -16,61 \text{ dBm}$. [11]. Como se muestra en la Tabla 2 los valores de potencia que reciben las cuatro ONTs/ONUs registradas por el TGMS [4] son muy próximos a esta cifra (dependiendo de la distancia final entre *splitter* y ONUs). Además, estos valores se encuentran dentro del rango permitido para las ONUs de clase óptica B+, con una sensibilidad de -28 dBm y una potencia de saturación de -8 dBm [11].

A continuación se realizará el mismo análisis en el sentido de subida, denominado *Upstream*. La diferencia principal respecto al sentido *Downstream* es la longitud de onda de transmisión, que en este caso será de 1310 nm con una atenuación de 0,4 dB/km. Para calcular la atenuación se tendrán en cuenta las mismas condiciones que en el sentido de bajada, obteniendo el valor que se muestra en la Ecuación 3.

Atenuación teórica sentido Upstream

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Atenuación Splitter 1} + \text{Atenuación Splitter 2}) \\
 &+ \left(\text{Atenuación fibra} \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times \text{Distancia} \right) \\
 &+ (\text{Atenuación empalme} \times n^{\circ} \text{ empalmes}) \\
 &+ (\text{Atenuación conectores} \times n^{\circ} \text{ conectores}) \\
 &= (9\text{dB} + 0) + \left(0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 20 \text{ km} \right) + 0 + \left(0,5 \frac{\text{dB}}{\text{conector}} \times 12 \text{ conectores} \right) \\
 &= 23\text{dB}
 \end{aligned}$$

Ecuación 3. Cálculo de la atenuación teórica en el sentido *Upstream* de la red GPON

El valor obtenido en este caso, 23 dB, se encuentra dentro del rango de atenuación de la clase óptica B+ (13 a 28 dB) [6]. En este sentido de la comunicación, tanto la fuente de luz como el medidor de potencia se configuran para una longitud de onda de 1310 nm. La potencia medida es de -3,26 dBm, valor que se toma como referencia. En este caso, para medir la atenuación se desconectó una de las ONUs, y en su lugar se conectó la fuente de luz. El valor de potencia medido es de -22,72 dBm. Con estos datos, el valor de la atenuación será de $-3,26 \text{ dBm} - (-22,72 \text{ dBm}) = 19,46 \text{ dB}$. El valor teórico obtenido era de 23 dB, pero igual que en el sentido *Downstream*, hay que tener en cuenta que los valores que escogidos para la atenuación en la fibra y las pérdidas de los conectores son los más altos que los reales. Como se observa, se obtiene un resultado coherente con el valor teórico y que además está dentro del rango permitido para la clase óptica B+ (13-28 dB) [6].

Ahora, se comprobarán los resultados obtenidos en el sentido *Upstream*. La potencia de transmisión real de las ONUs será de 2 dBm, dato obtenido con el medidor de potencia como se expuso anteriormente. La atenuación real medida era de 19,46 dB, por lo tanto la potencia recibida por el OLT es de $2 \text{ dBm} - 19,46 \text{ dB} = -17,46 \text{ dBm}$. Este valor es semejante a los valores obtenidos por el TGMS [4], que se muestran en la Tabla 2 (ligeras diferencias debidas a la distancia entre el *splitter* y las ONUs). Además, este valor pertenece al rango de potencias permitido por el OLT para la clase óptica B+, con una potencia de saturación de 8dBm y una sensibilidad de -28 dBm [8].

4.4 Diseño y análisis de la red GPON en el canal descendente usando OtpSim

En este apartado de la memoria se va a emular en OpStim a nivel físico el montaje real del testbed GPON en el canal descendente o *downstream*. Para ello, en primer lugar se explicará paso a paso el montaje y los componentes que hay que desplegar y a continuación se analizarán los resultados (potencias, diagramas de ojos, BER) y se compararán con los obtenidos a nivel real en la red GPON (apartado anterior).

El primer sistema que vamos a construir es un sistema muy sencillo con el que se verán los efectos de atenuación y de la longitud de la fibra en la señal recibida. El montaje en OptSim del canal descendente se muestra en la Figura 59.

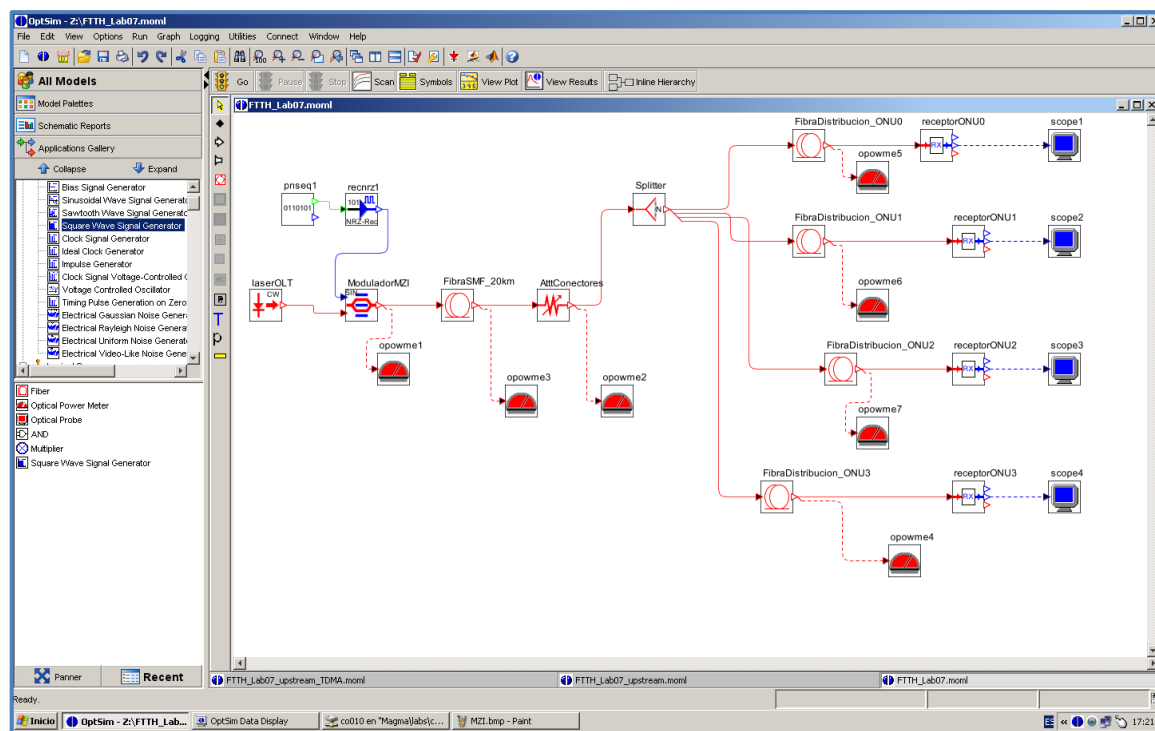


Figura 59. Montaje para simular el canal *Downstream* de la red GPON

El transmisor estará formado por una fuente de datos digitales (*Datasource*), un driver eléctrico (*Driver*), un láser (*Laser Diode*) y un modulador (*Amplitude modulator*). Para colocar los componentes en el montaje hay que pulsar “*Model Palettes*” en el menú que aparece a la izquierda en la interfaz del programa. Aquí, hay que pulsar sobre el símbolo del componente deseado, arrastrarlo hacia la zona del dibujo y volver a pulsar en la zona del dibujo. Para inicializar un componente y cambiar los parámetros asignados por defecto, hay que hacer doble clic sobre su símbolo. Una vez se han modificado los parámetros deseados habrá que pulsar “*Apply*” y después “*Ok*”.

En primer lugar, habrá que especificar la tasa de transmisión, que será de 2,5 Gbit/s, tal y como se observa en la Figura 60. La señal transmitida será una señal NRZ, con los parámetros establecidos por defecto (0-5 V), como se muestra en la Figura 61. La fuente de datos digitales corresponde al bloque “*pnseq1*” en el montaje de Optsim, y la señal NRZ corresponde al bloque “*recnrz1*”.

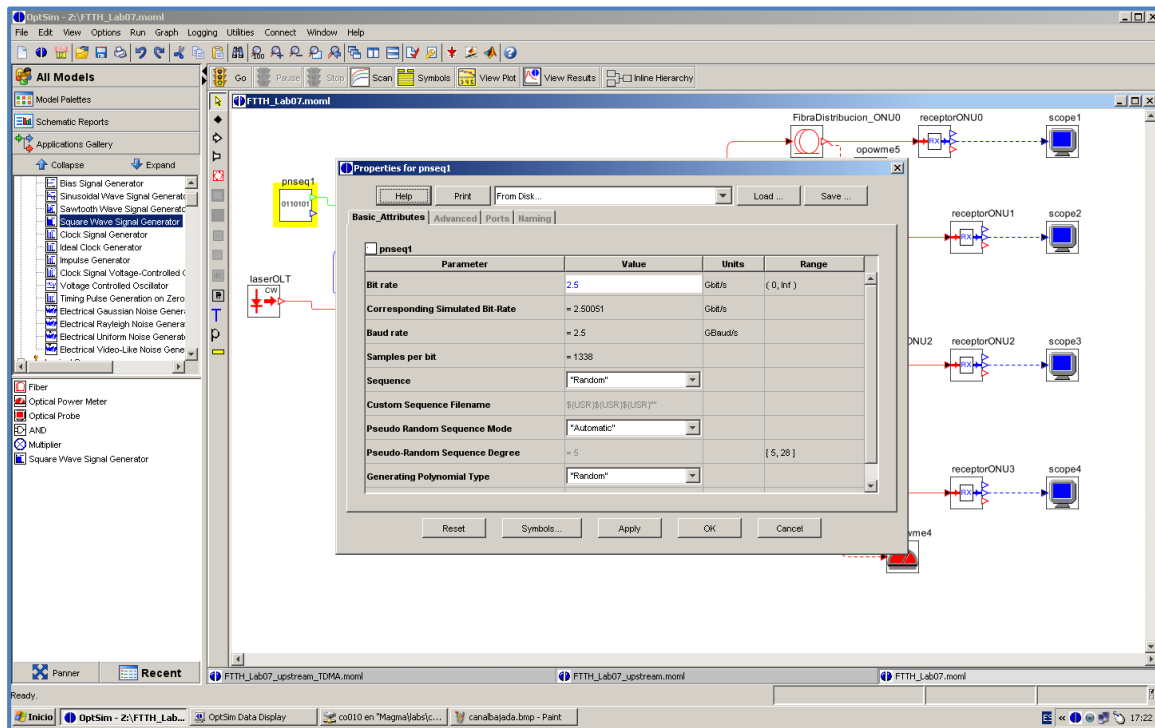


Figura 60. Modificación de la tasa de transmisión en la fuente lógica del OLT

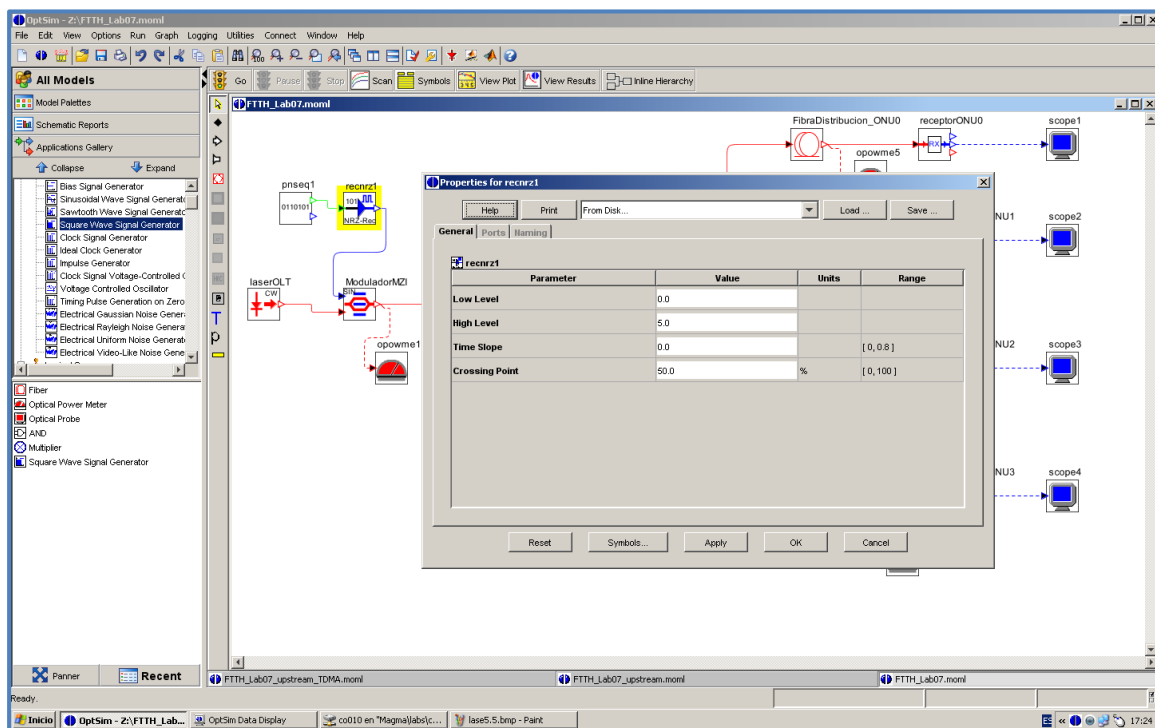


Figura 61. Parámetros por defecto de la señal NRZ de la modulación en intensidad en el OLT

El modulador (*Mach Zehnder*), ya que se emplea modulación externa, también conservará sus parámetros por defecto, tal y como se muestra en la Figura 62. Este componente se identifica en el montaje con el nombre “*ModuladorMZI*”.

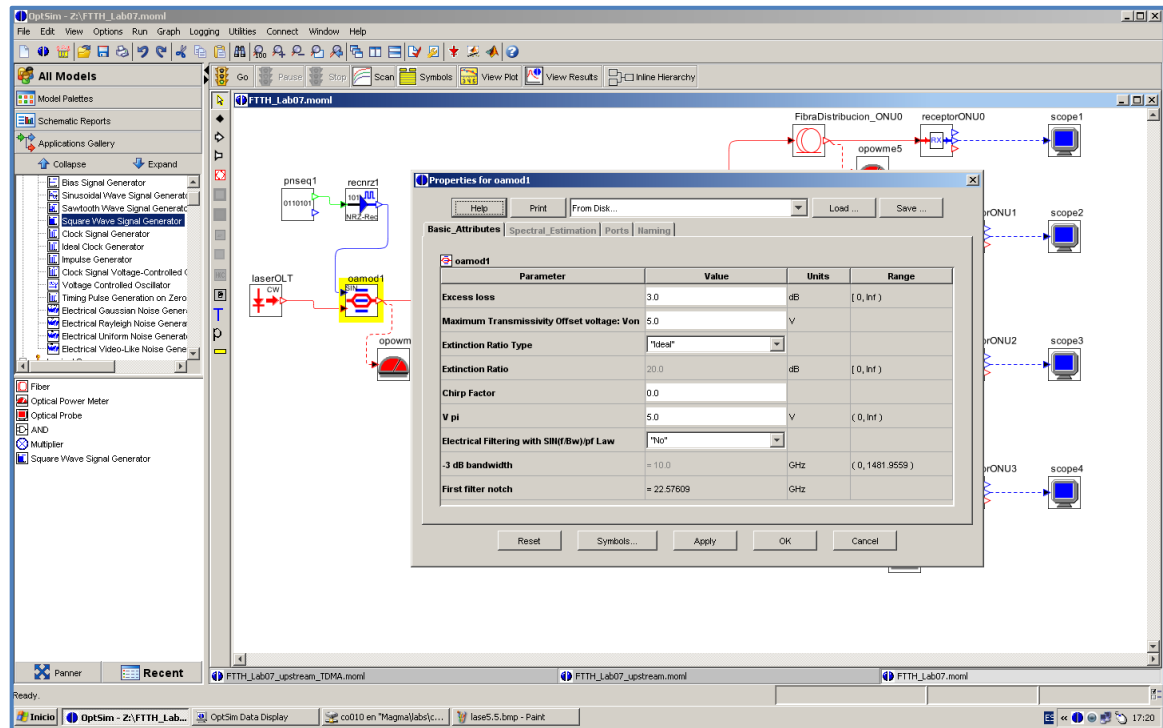


Figura 62. Parámetros por defecto del modulador MZI empleado en el OLT

Ahora, hay que determinar la potencia de salida del láser para poder realizar la simulación. Sabemos que el OLT transmite a una potencia entre 1,75 dBm y 5 dBm. Las pérdidas introducidas por el driver NRZ serán de 3dB, al igual que las introducidas por el modulador (valores por defecto). Para ello, vamos a realizar el análisis teniendo en cuenta los valores mínimos y máximos a los que va a transmitir el OLT. Así pues, Primero vamos a suponer que el OLT está transmitiendo a 1,75 dBm, valor mínimo de potencia que se puede transmitir, por lo tanto, la potencia de salida del láser debe ser la que se ha calculado en la Ecuación 4.

Potencia de salida del OLT

- = *Potencia óptica a la salida del láser*
- *Pérdidas introducidas por driver NRZ*
- *Pérdidas introducidas por modulador de amplitud*

Potencia óptica a la salida del láser

$$\begin{aligned}
&= \text{Potencia de salida del OLT} + \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\
&+ \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\
&= 1,5 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 7,5 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

Ecuación 4. Cálculo de la potencia óptica a la salida del láser para la potencia de transmisión mínima del OLT

Además de esto, nuestro montaje tiene algunas diferencias con el montaje real. En primer lugar, los 20 kilómetros de fibra se han agrupado en un solo tramo, en lugar de poner un tramo de fibra óptica por cada bobina. En segundo lugar, y para hacer el esquema más sencillo, se han agrupado las pérdidas de todos los conectores en un solo componente (). A continuación se muestran los parámetros establecidos para cada uno de los componentes del montaje. En primer lugar se establece una potencia de salida de 7,5 dBm para el láser del OLT, tal y como se muestra en la Figura 63, dejando el resto de parámetros por defecto salvo la longitud de onda de transmisión que estará situada en 1490 nm. Podemos identificar el láser en el montaje por el nombre del componente, que en este caso es “*laserOLT*”.

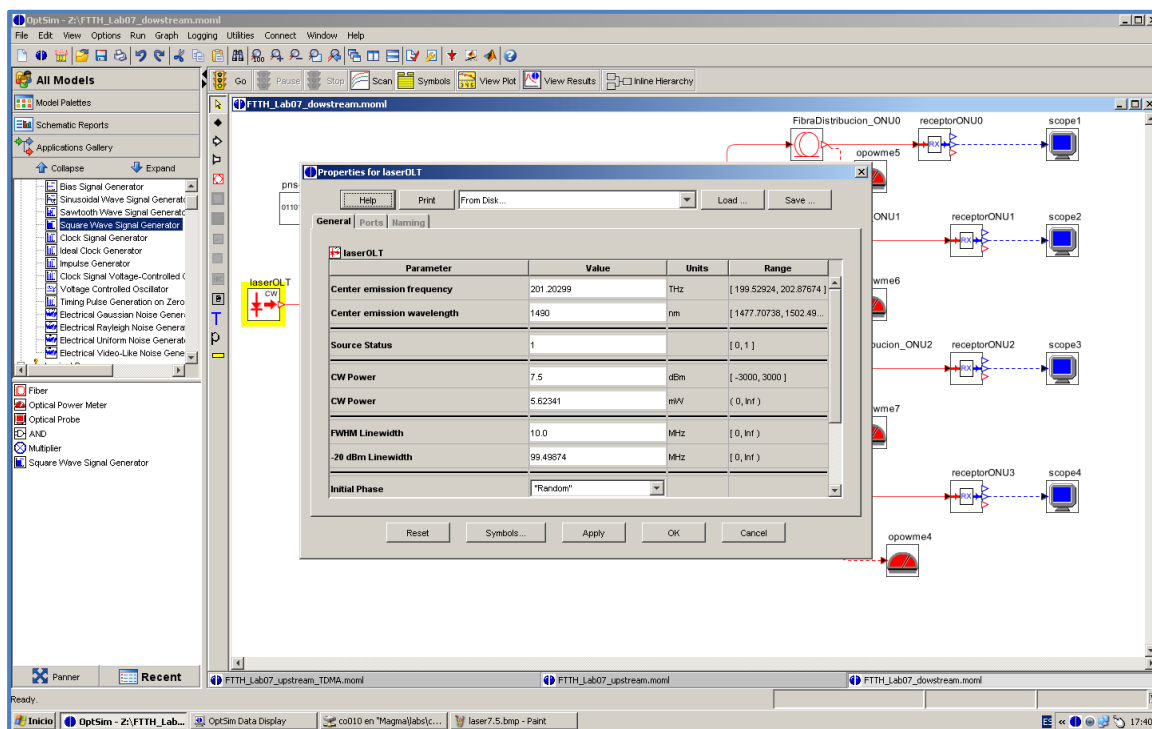


Figura 63. Modificación de los parámetros del láser del OLT

Para el tramo de fibra óptica que se encuentra entre el OLT y el *splitter* se establece una distancia de 20 kilómetros, tal y como se observa en la Figura 64. El tipo de fibra óptica que se usa es la monomodo estándar que corresponde con el modelo *Standard_SM* en OptSim. Dentro de los parámetros de esta fibra se modificará el valor de la atenuación y la longitud de onda, que por defecto será de 0,2 dB/km y 1550 nm. En este caso estamos trabajando en 1490 nm y la atenuación será 0,3 dB/km, tal y como se observa en la Figura 65. El resto de parámetros de la fibra serán los estipulados por defecto. El módulo que se ha utilizado para simular este tramo de fibra se ha nombrado como “*FibraSMF_20km*”.

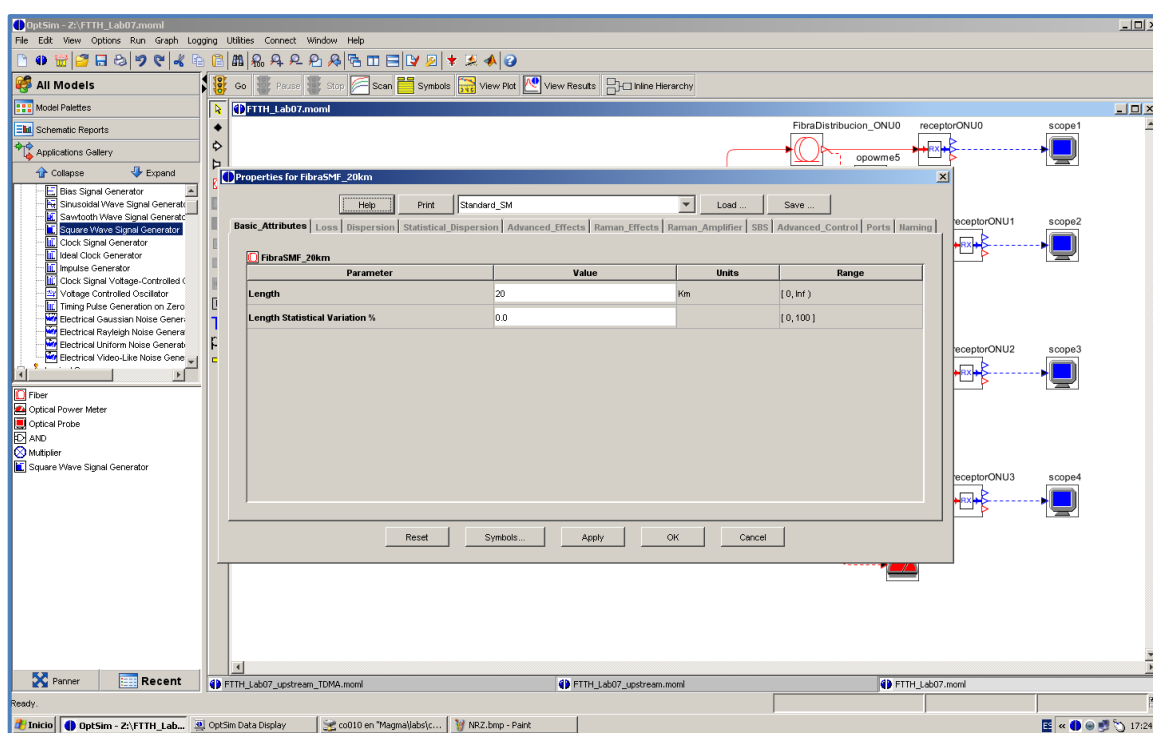


Figura 64. Modificación de la distancia entre el OLT y el *splitter* en el canal *downstream*

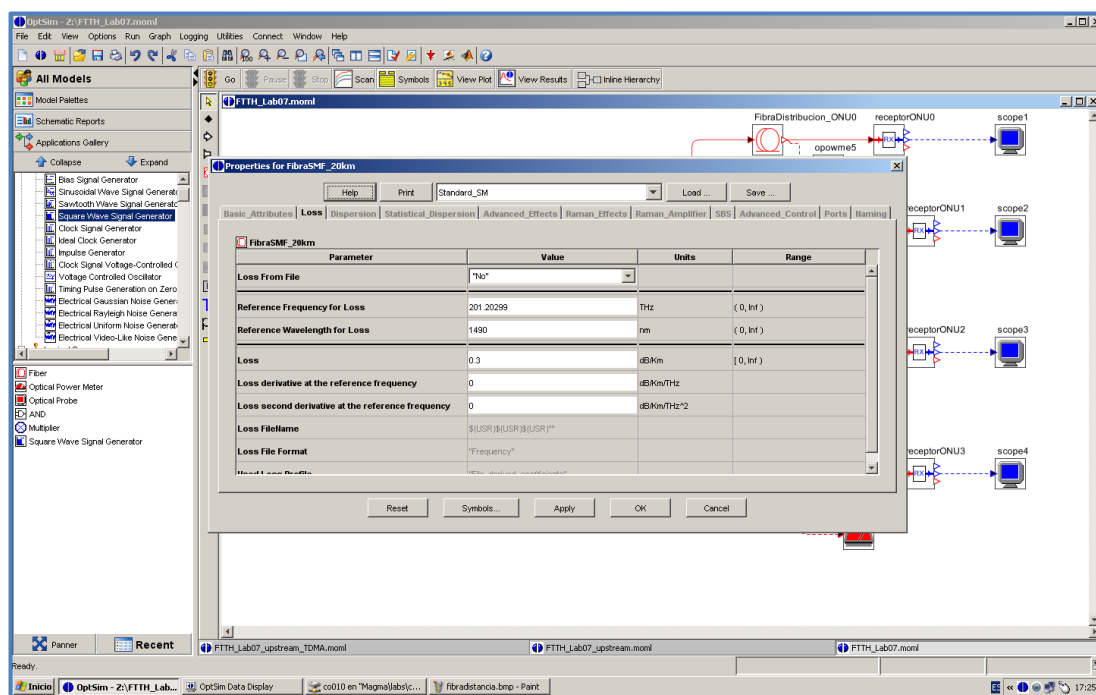


Figura 65. Modificación de la longitud de onda y la atenuación de la fibra óptica entre el OLT y el *splitter* en el canal *downstream*

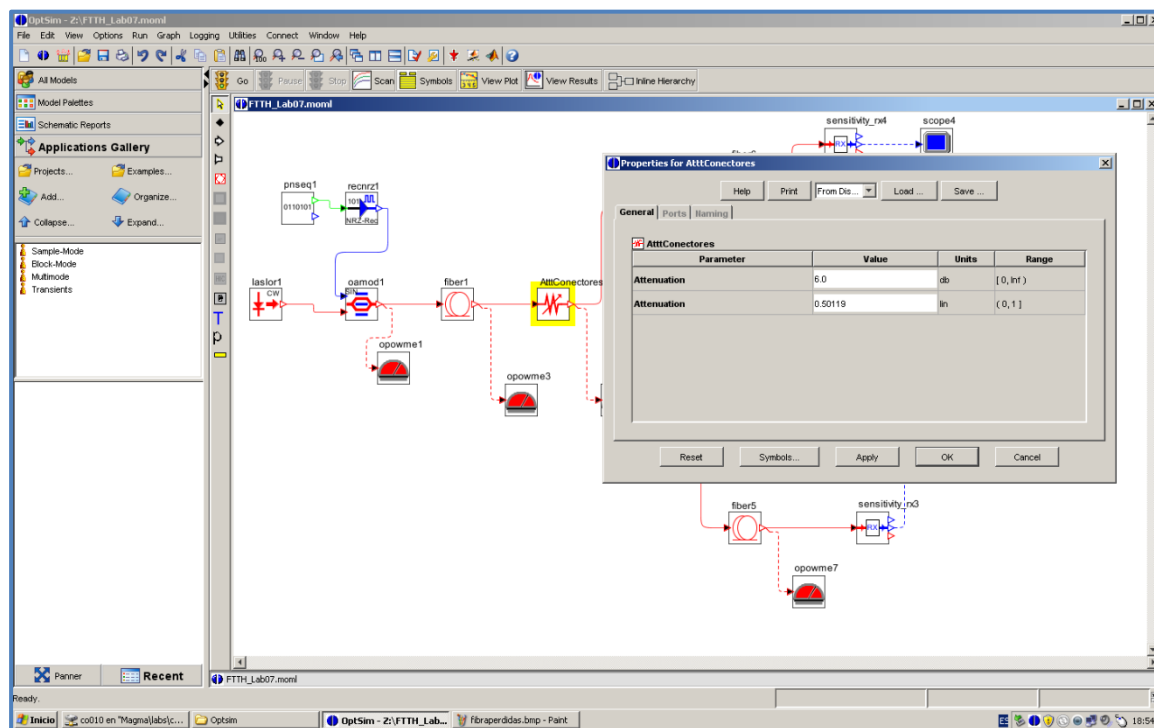


Figura 66. Modificación de las pérdidas introducidas por los conectores en el componente atenuador

Las pérdidas introducidas por los conectores se han agrupado en un solo componente, un atenuador, que se identifica en el montaje con el nombre de “AttConectores”. Para las pérdidas asociadas a este módulo se ha establecido un valor de 6 dB (12 conectores considerando unas pérdidas de 0,5 dB/km por cada uno de ellos), tal y como se muestra en la Figura 66.

Después del atenuador, como se muestra en la Figura 59, para simular la división de la señal hacia las ONTs/ONUs se ha colocado un *splitter* de razón 1:8 (aunque solamente tenemos conectadas 4 ONTs/ONUs en la red GPON). En la Figura 67 se muestra el valor especificado para las pérdidas introducidas por el *splitter*, que será de 9dB (1 entrada y 8 salidas). El componente que corresponde al *splitter* en el montaje de Optsim se llama “*Splitter*”.

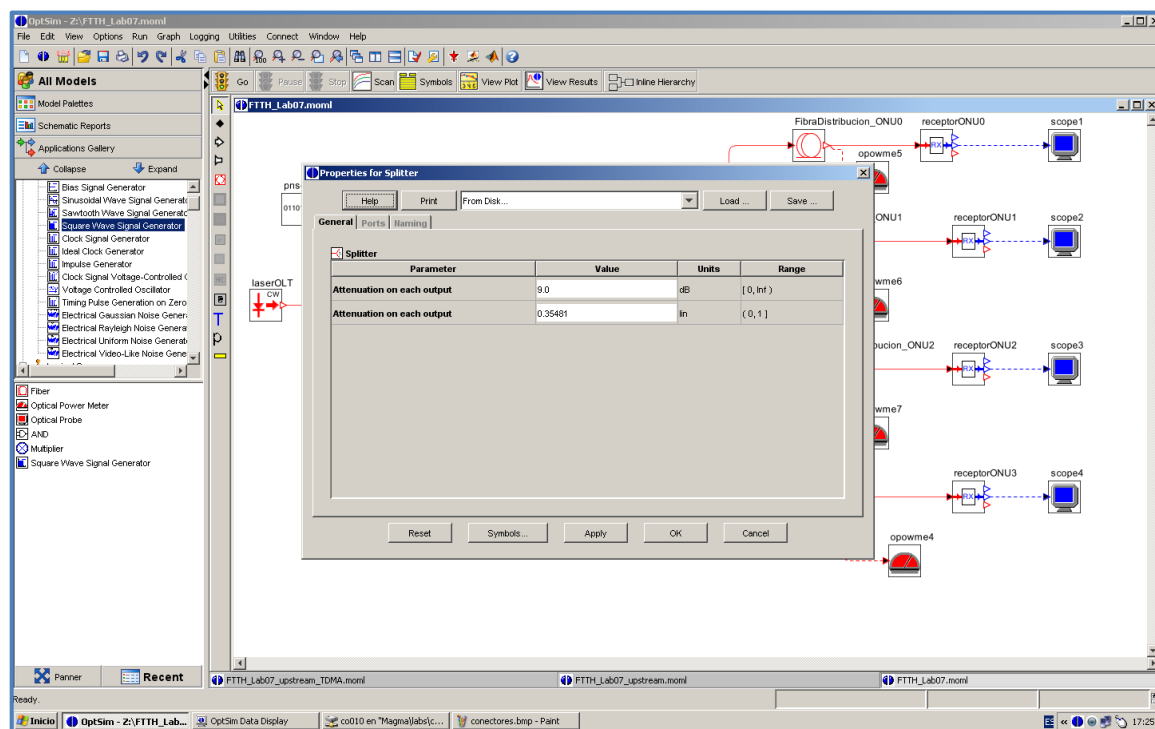


Figura 67. Modificación de las pérdidas introducidas por el *splitter*

A continuación, se encontrarán las ramas de las 4 ONTs/ONUs, por lo que habrá que modificar la distancia a la que se encuentra cada ONT/ONU del *splitter* (red de distribución). Se ha establecido una distancia de 100 metros para la ONT 0, tal y como se muestra en la Figura 68. Las distancias establecidas para el resto de las ONUs son 500 metros para la ONT 1, 300 metros para la ONT 2 y 100 metros para la ONT 3, las mismas que se utilizaron para medir las potencias recibidas con el TGMS [4] (Tabla 2).

Estos tramos de fibra óptica se identifican en el montaje de Optsim con los nombres: “FibraDistribucion_ONU0”, “FibraDistribucion_ONU1”, “FibraDistribucion_ONU2” y “FibraDistribucion_ONU3”.

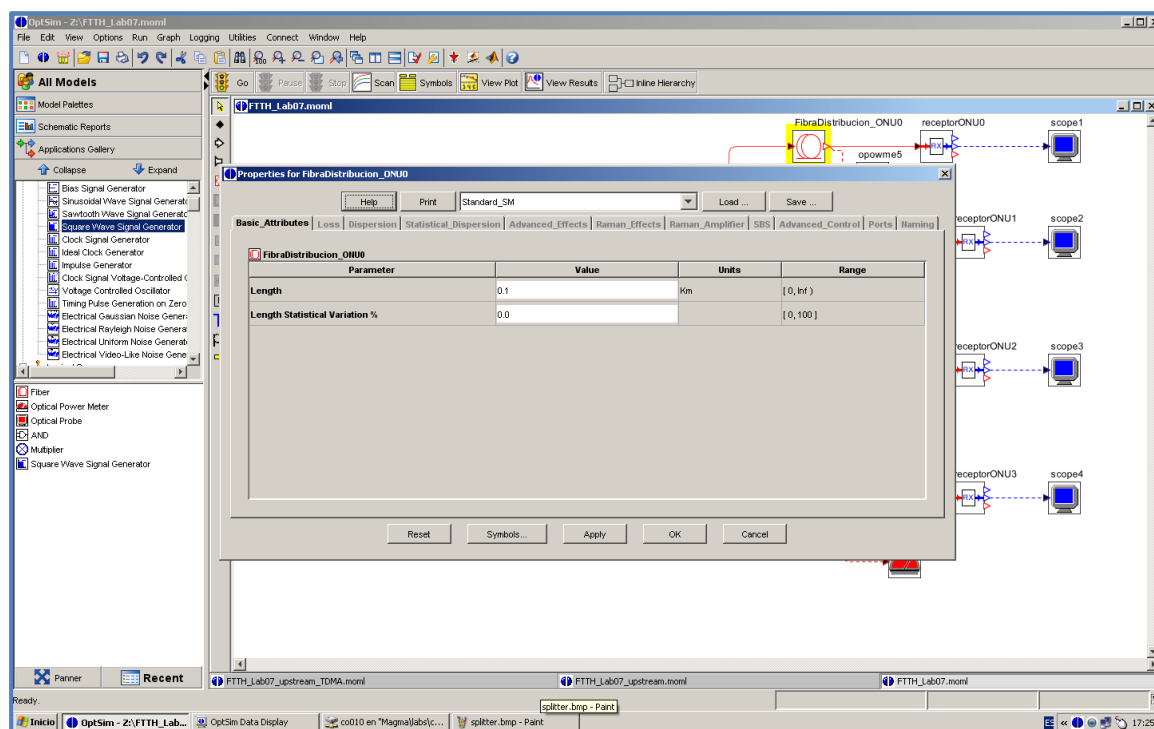


Figura 68. Modificación de la distancia entre el splitter y la ONT 0

Por último, hay que especificar los parámetros de los receptores, que son los componentes de nombre “ReceptorONUx” (donde x será 0, 1, 2 ó 3). Habrá que especificar la tasa de transmisión, que en este caso es de 2,5 Gbit/s, y la sensibilidad de las ONUs, que es de -28 dBm [13]. En la Figura 69 se muestra la ventana en la que se modifican estos parámetros para el “ReceptorONU1”. El resto de los parámetros del receptor conservan su valor por defecto.

A continuación, se han de establecer los parámetros de la simulación. Para ello, en el menú de la parte superior habrá que seleccionar “Edit” y “Simulation parameter Edit”, tal y como se muestra en la Figura 70. Para editar los parámetros de la simulación habrá que seleccionar la pestaña “Time Domain” y modificar los parámetros de la longitud de onda central y la tasa de transmisión. En este caso estos parámetros serán 1490 nm y 2,5 Gbit/s, tal y como se muestra en las Figuras 71 y 72.

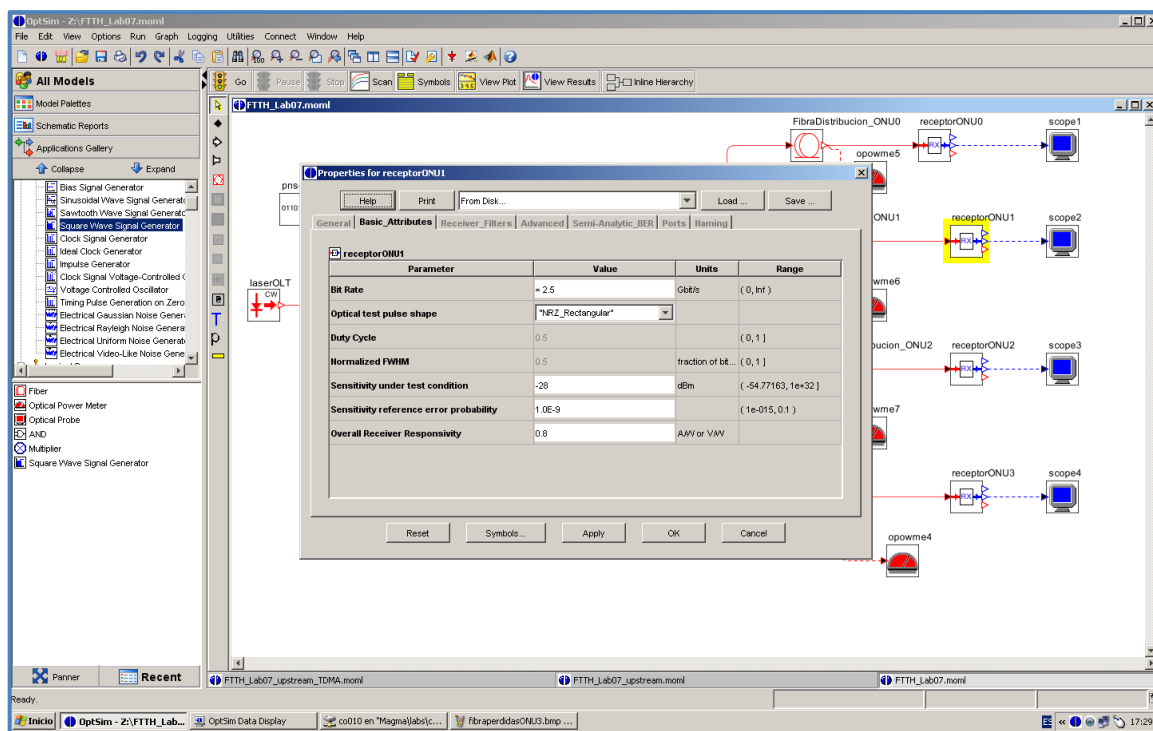


Figura 69. Parámetros del receptor de la ONU1

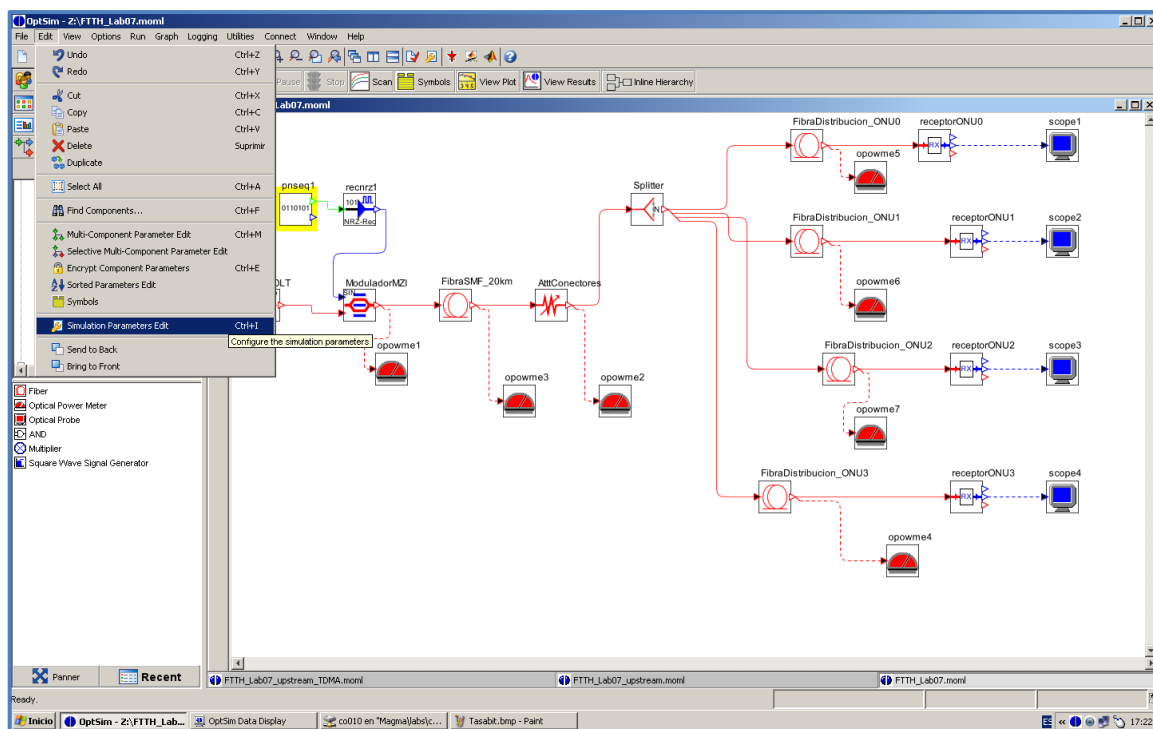


Figura 70. Editar parámetros de la simulación en OptSim

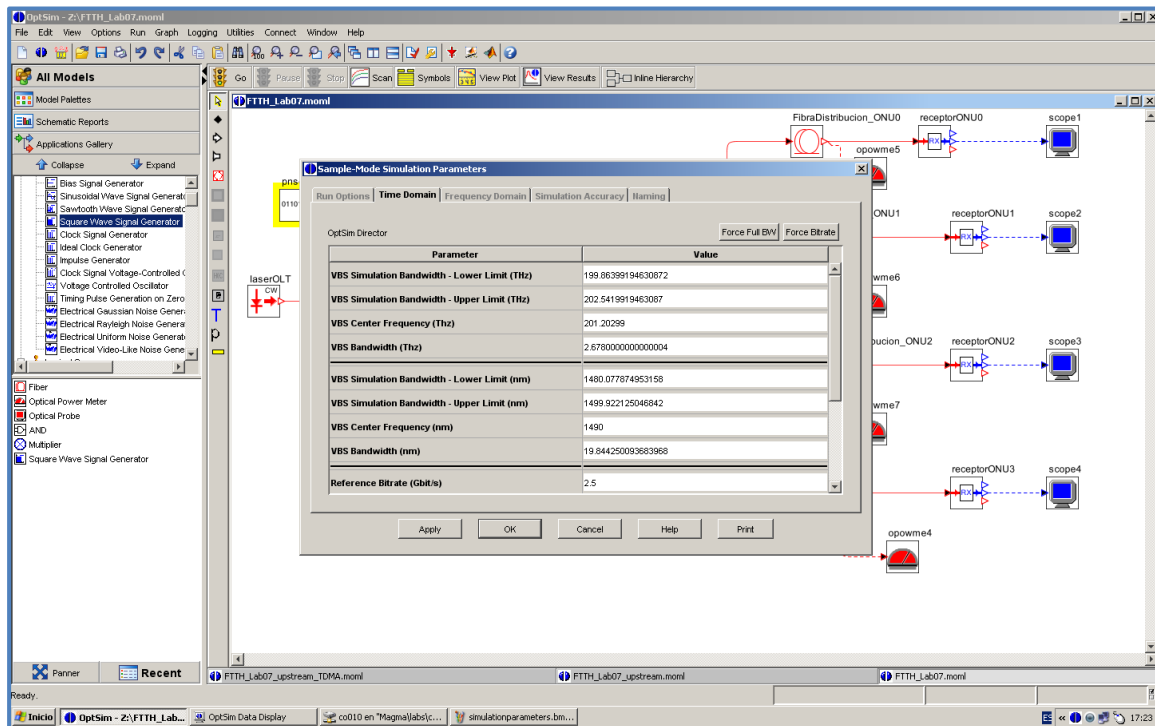


Figura 71. Establecer longitud de onda para la simulación en OptSim

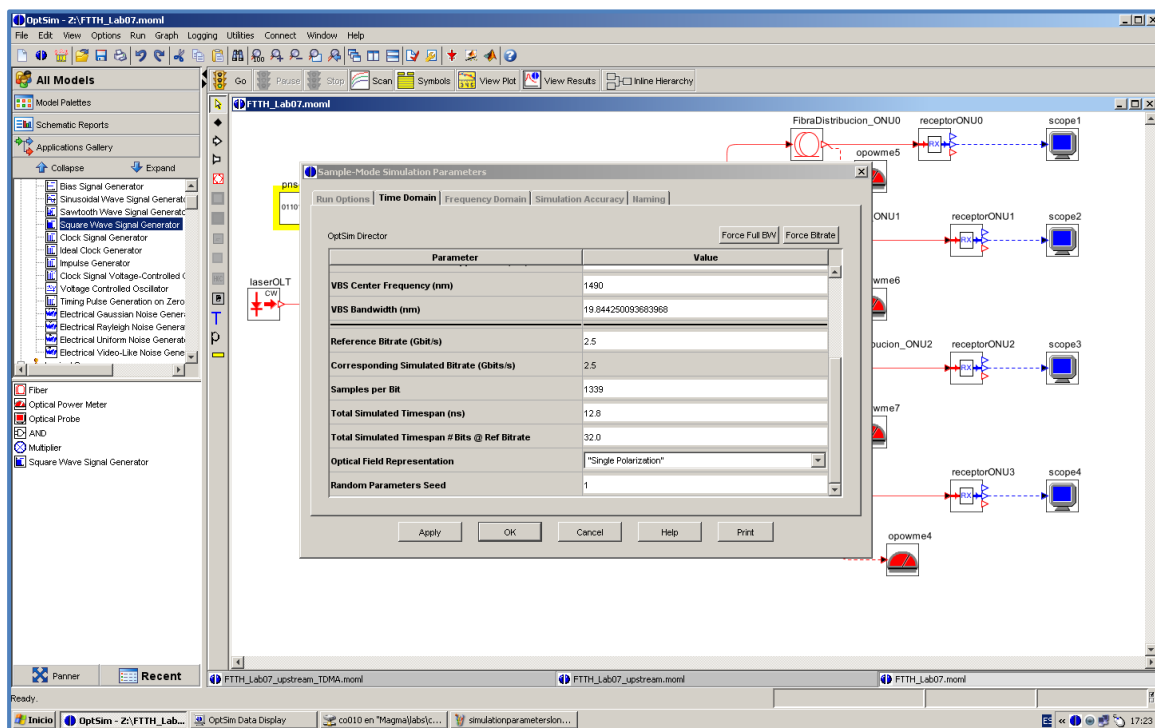


Figura 72. Establecer tasa de transmisión para la simulación en OptSim

El siguiente paso será lanzar la simulación, para ello en primer lugar se pulsará el icono del semáforo “Go”. Después, en la ventana que aparece habrá que pulsar “Start: Single Run”, tal y como se observa en la Figura 73. Mientras la simulación está en curso aparecerá una ventana que nos muestra el progreso, como se observa en la Figura 74.

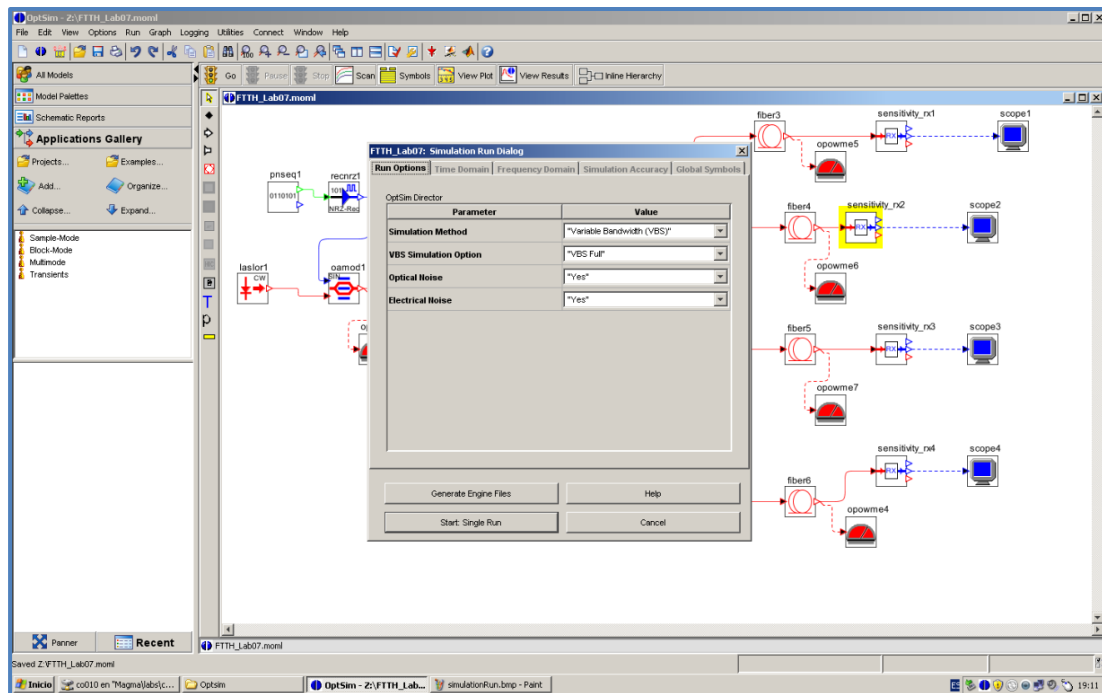


Figura 73. Inicio de la simulación del canal *downstream* OptSim

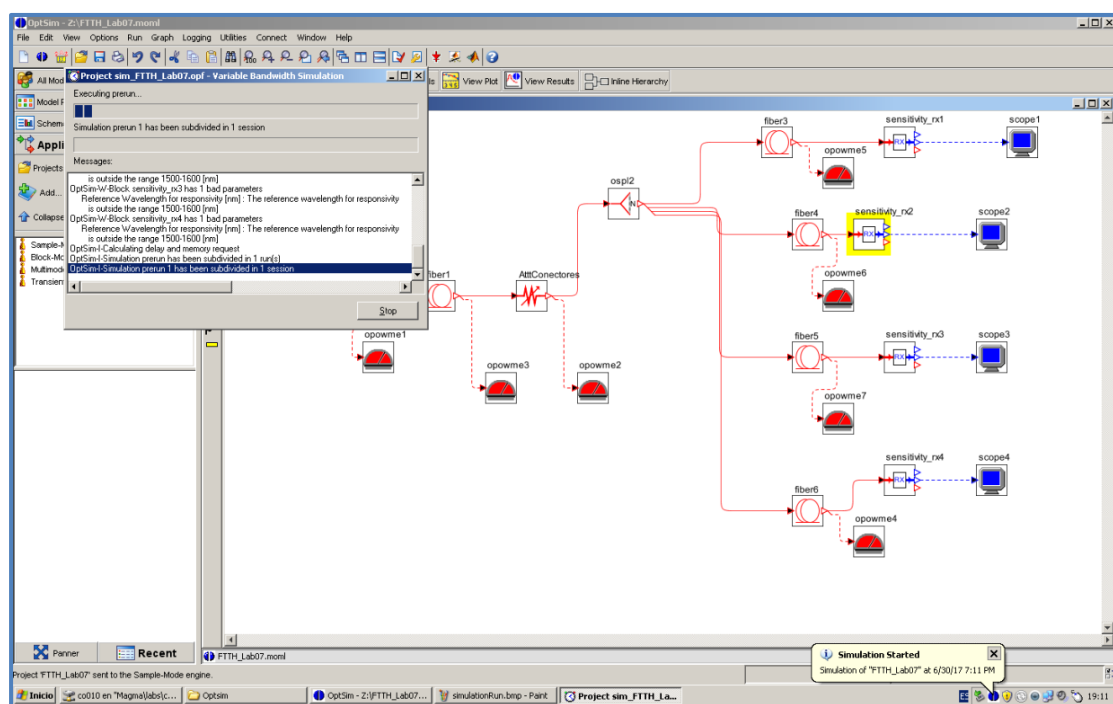


Figura 74. Simulación en curso

Una vez ha finalizada la simulación, para ver los resultados obtenidos habrá que pulsar con el botón derecho del ratón sobre uno de los medidores de potencia y seleccionar la opción “View Data...”, como se puede ver en la Figura 75. Cuando se selecciona esta opción aparece una ventana que muestra el valor de la potencia óptica en ese punto en dBm y milivatios (mW). En la Figura 76 se muestra el valor de la potencia a la salida del OLT.

Finalmente, los valores de potencia ópticos obtenidos antes del receptor en los diferentes medidores del montaje a la entrada de las ONTs/ONUs son los que se muestran en la Tabla 3.

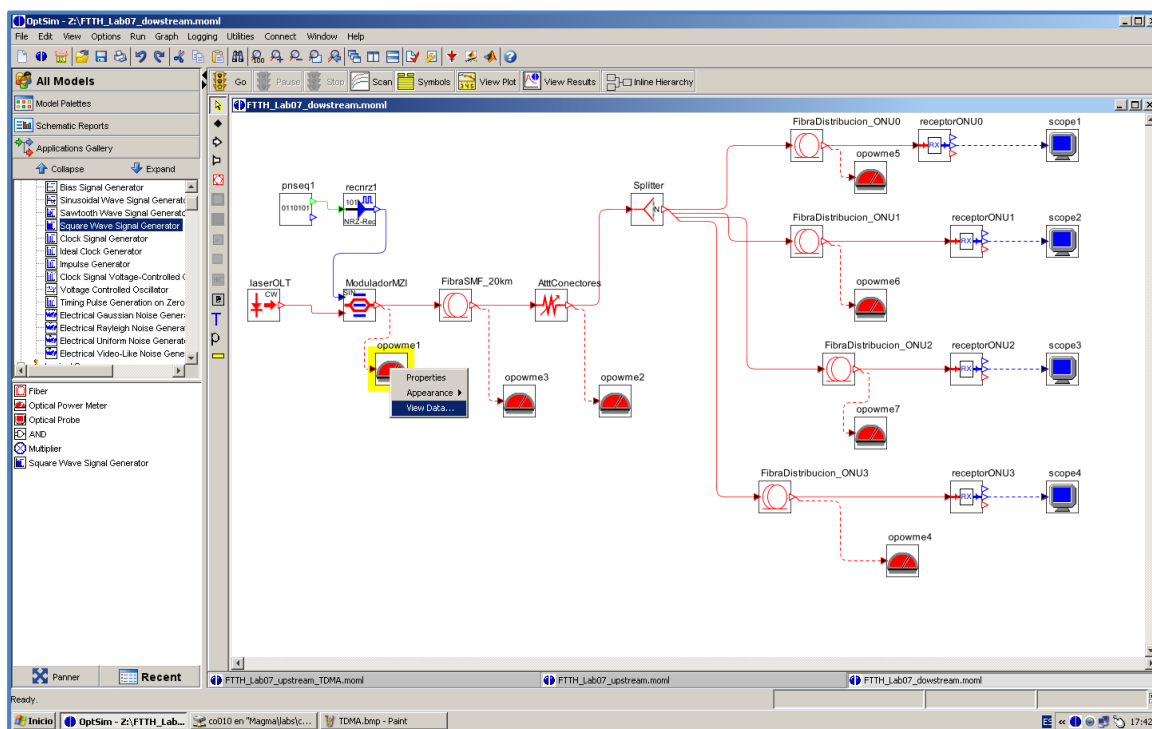


Figura 75. Visualizar resultado en el medidor de potencia

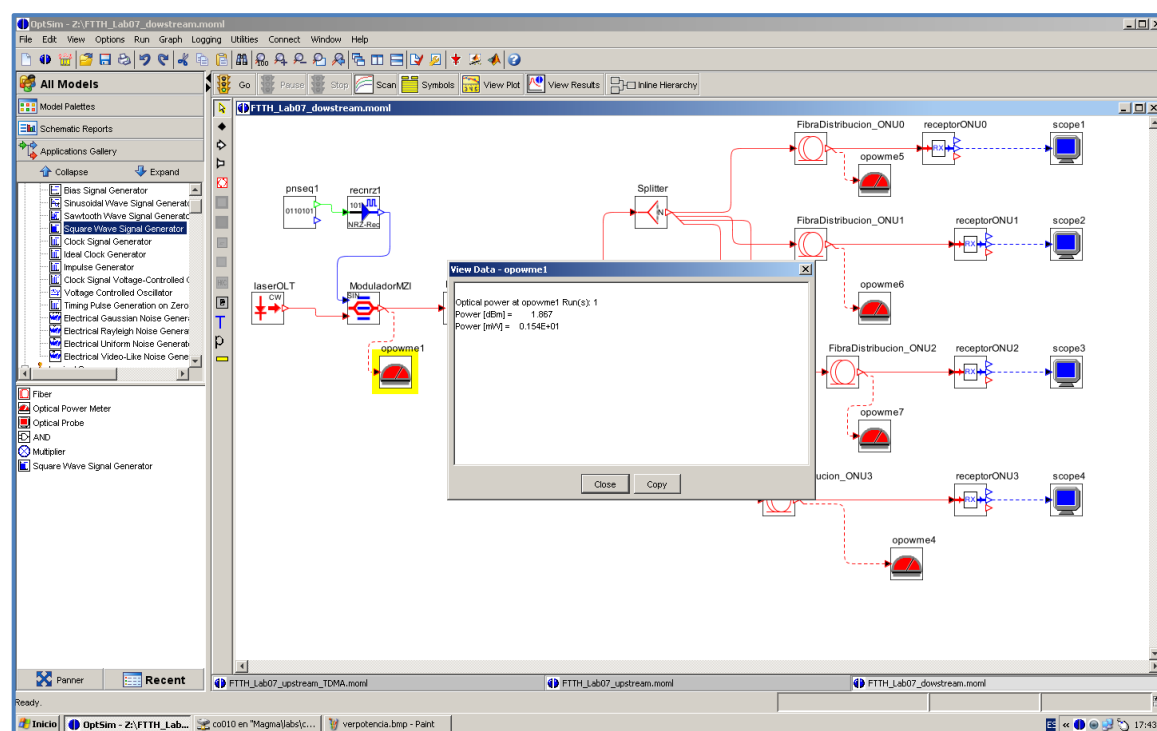


Figura 76. Potencia óptica a la salida del OLT

POSICIÓN DEL MEDIDOR DE POTENCIA	VALOR DE POTENCIA ÓPTICA
Salida del OLT	1,867 dBm
Después de los 20 kilómetros de fibra	-4,213 dBm
Después del atenuador (pérdidas de los conectores)	-10,213 dBm
ONT/ONU 0	-19,25 dBm
ONT/ONU 1	-19,397 dBm
ONT/ONU 2	-19,324 dBm
ONT/ONU 3	-19,25 dBm

Tabla 3. Medidas de potencia óptica obtenidas en OptSim en la primera simulación

El cálculo teórico de la potencia recibida por cada ONT/ONU en este montaje se muestra en la Ecuación 5. Para realizar este cálculo se ha despreciado la distancia entre el *splitter* y las ONUs, ya que es de muy pocos metros (inferior a 1 kilómetro) y apenas

habrá atenuación. Como se observa, los valores de potencia obtenidos en la simulación son muy próximos al valor teórico que se ha obtenido en la Ecuación 5.

Potencia recibida por la ONU

$$\begin{aligned} &= \text{Potencia de salida del láser} - \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\ &- \text{Atenuación en la fibra} - \text{Pérdidas introducidas por los conectores} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por el splitter} \\ &= 7,5 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - \left(20 \text{ km} \times 0,3 \frac{\text{dB}}{\text{km}}\right) \\ &- \left(12 \text{ conectores} \times 0,5 \frac{\text{dB}}{\text{conector}}\right) - 9 \text{ dB} = -19,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ecuación 5. Cálculo teórico de la potencia recibida por las ONTs/ONUs

Ahora, se realizará la misma simulación con el valor máximo de potencia que es capaz de transmitir el OLT, en este caso 5 dBm. Para ello, es necesario calcular la potencia de transmisión del láser, tal y como se muestra en la Figura 6.

Potencia óptica a la salida del láser

$$\begin{aligned} &= \text{Potencia de salida del OLT} + \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\ &+ \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\ &= 5 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 11 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ecuación 6. Cálculo de la potencia óptica a la salida del láser para la potencia de transmisión máxima del OLT

Por tanto, se cambiará el valor de la potencia de transmisión del láser por el valor calculado en la Ecuación 6, tal y como se muestra en la Figura 77. Después, se lanzará de nuevo la simulación como se ha explicado anteriormente. En este caso, los valores de potencia obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 4.

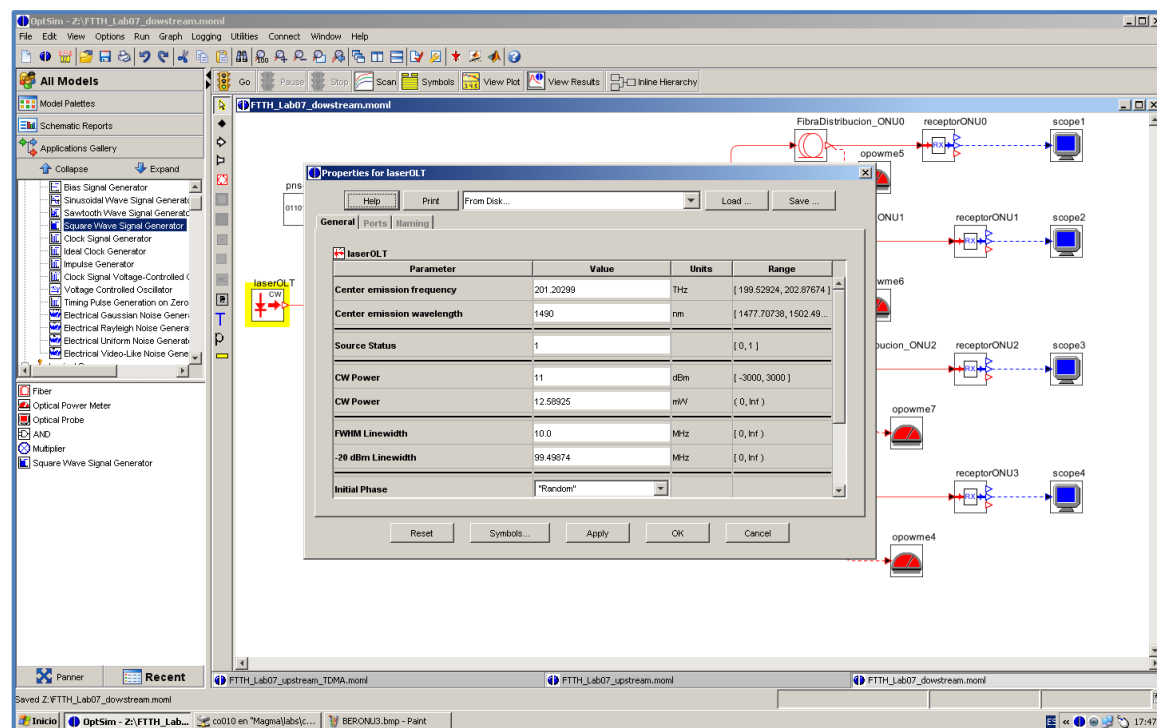


Figura 77. Potencia de transmisión del láser de 11 dBm

POSICIÓN DEL MEDIDOR DE POTENCIA	VALOR DE POTENCIA ÓPTICA
Salida del OLT	5,367 dBm
Después de los 20 kilómetros de fibra	-0,722 dBm
Después del atenuador (pérdidas de los conectores)	-6,722 dBm
ONT 0	-15,759 dBm
ONT 1	-15,906 dBm
ONT 2	-15,833 dBm
ONT 3	-15,759 dBm

Tabla 4. Medidas de potencia óptica obtenidas en OptSim en la segunda simulación

El cálculo teórico de la potencia recibida por la ONU en este caso se muestra en la Ecuación 7. De la misma manera que para el cálculo anterior, se ha despreciado la distancia entre el *splitter* y la ONU.

Potencia recibida por la ONU

$$\begin{aligned} &= \text{Potencia de salida del láser} - \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\ &- \text{Atenuación en la fibra} - \text{Pérdidas introducidas por los conectores} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por el splitter} \\ &= 11 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - \left(20 \text{ km} \times 0,3 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) \\ &- \left(12 \text{ conectores} \times 0,5 \frac{\text{dB}}{\text{conector}} \right) - 9 \text{ dB} = -16 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ecuación 7. Cálculo teórico de la potencia recibida por las ONTs/ONUs

De nuevo se comprueba que los valores obtenidos en la simulación son muy próximos al valor teórico calculado. Así, hemos establecido un rango para las potencias que reciben las ONTs/ONUs de la red, que está entre -16 dBm y -19,5 dBm. Como se puede observar en la Tabla 2, los valores de potencia reales recibidos por las ONTs/ONUs reflejados en el TGMS se encuentran dentro de este rango, a excepción de uno de ellos. Para la ONU 1, el valor de la potencia recibida en el TGMS es de -15,88 dBm, ligeramente superior al valor calculado de -16 dBm. Puesto que hemos establecido un cierto margen, tomando un valor superior al valor real tanto para las pérdidas de los conectores como para la atenuación en la fibra estos resultados son perfectamente válidos.

Por último, para completar el análisis del canal de bajada se mostrarán los diagramas de ojos y valores de la BER para las cuatro ONTs/ONUs. En las Figuras 78, 79, 80 y 81 se muestran los resultados obtenidos para la primera simulación, con una potencia de transmisión en el láser de 7,5 dBm. Tal y como se observa, los diagramas de ojos están totalmente limpios y la BER se corresponde con el nivel mínimo que establece OptSim, esto es 10^{-40} .

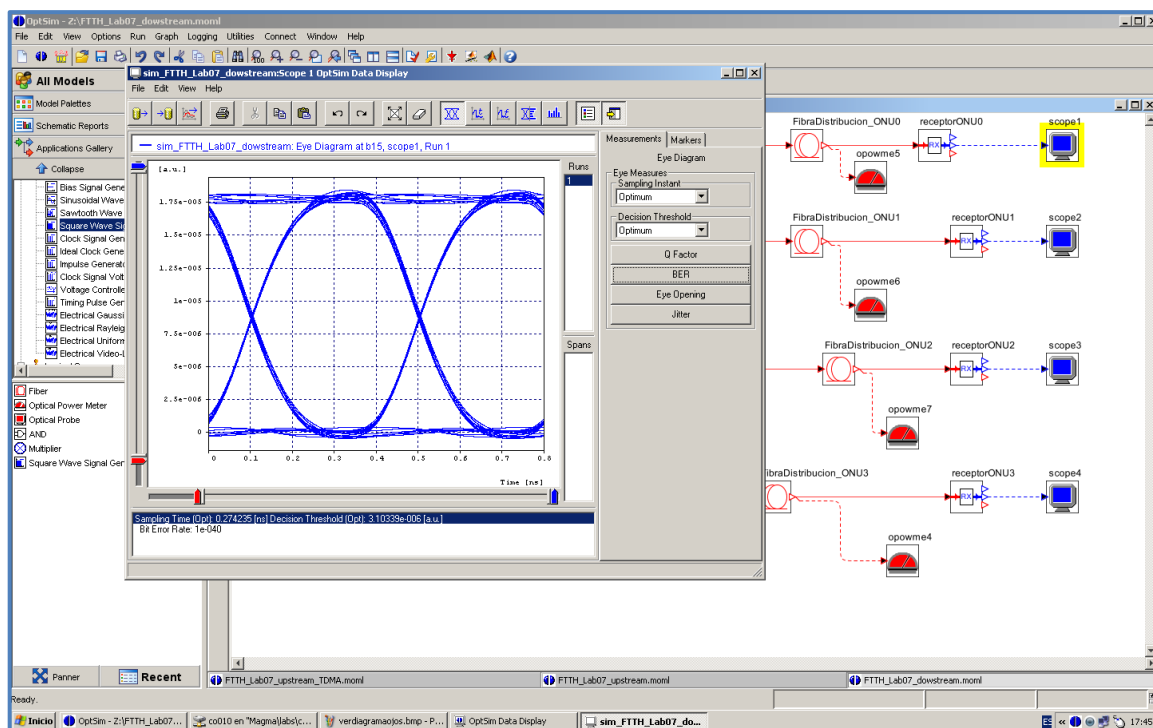


Figura 78. Diagrama de ojos y BER para la ONU 0 (potencia del láser 7,5 dBm)

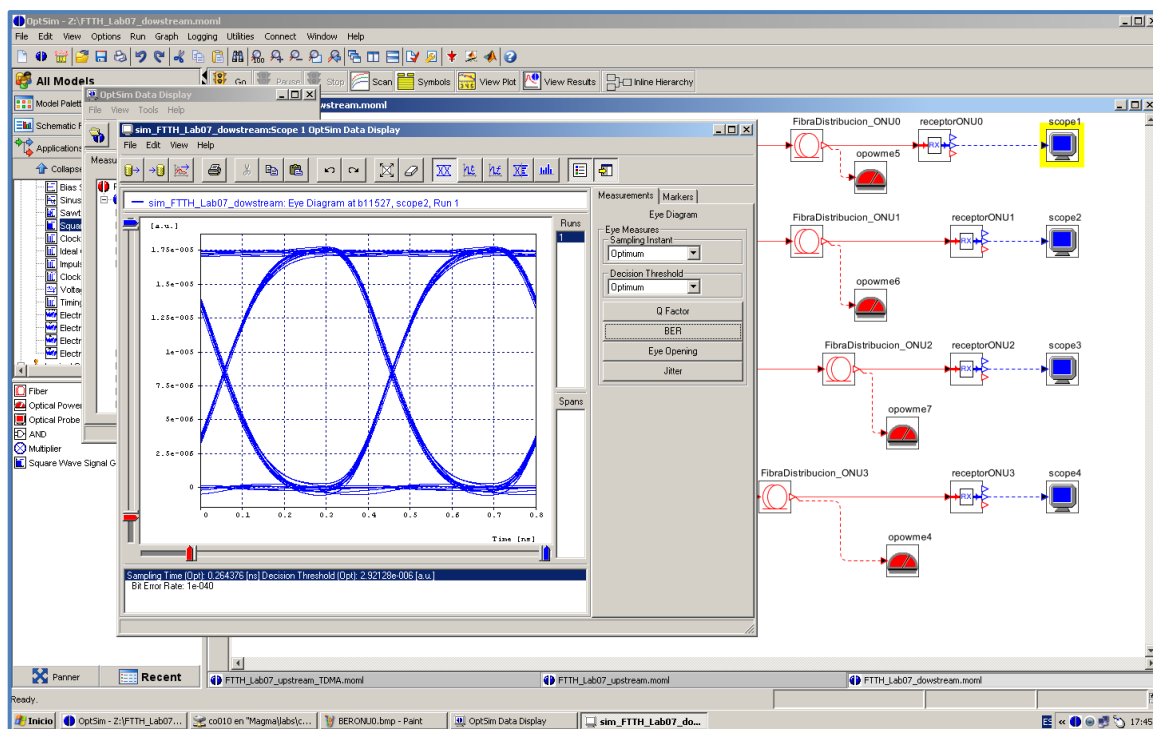


Figura 79. Diagrama de ojos y BER para la ONU 1 (potencia del láser 7,5 dBm)

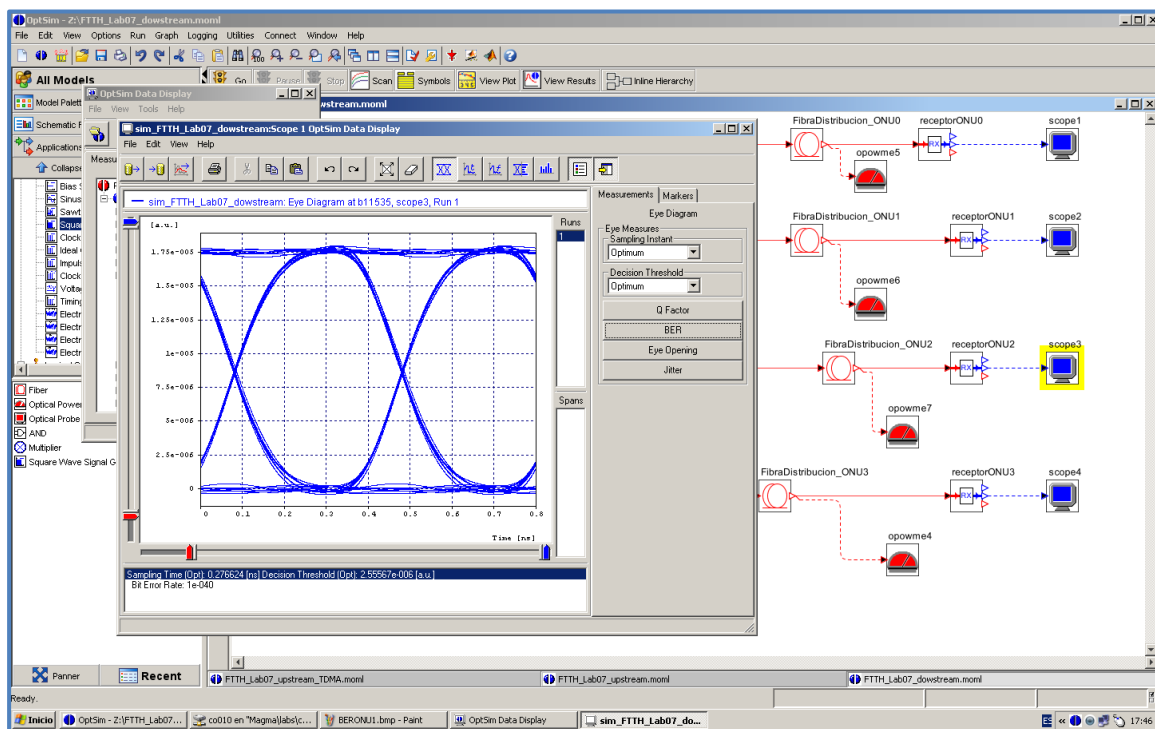


Figura 80. Diagrama de ojos y BER para la ONU 2 (potencia del láser 7,5 dBm)

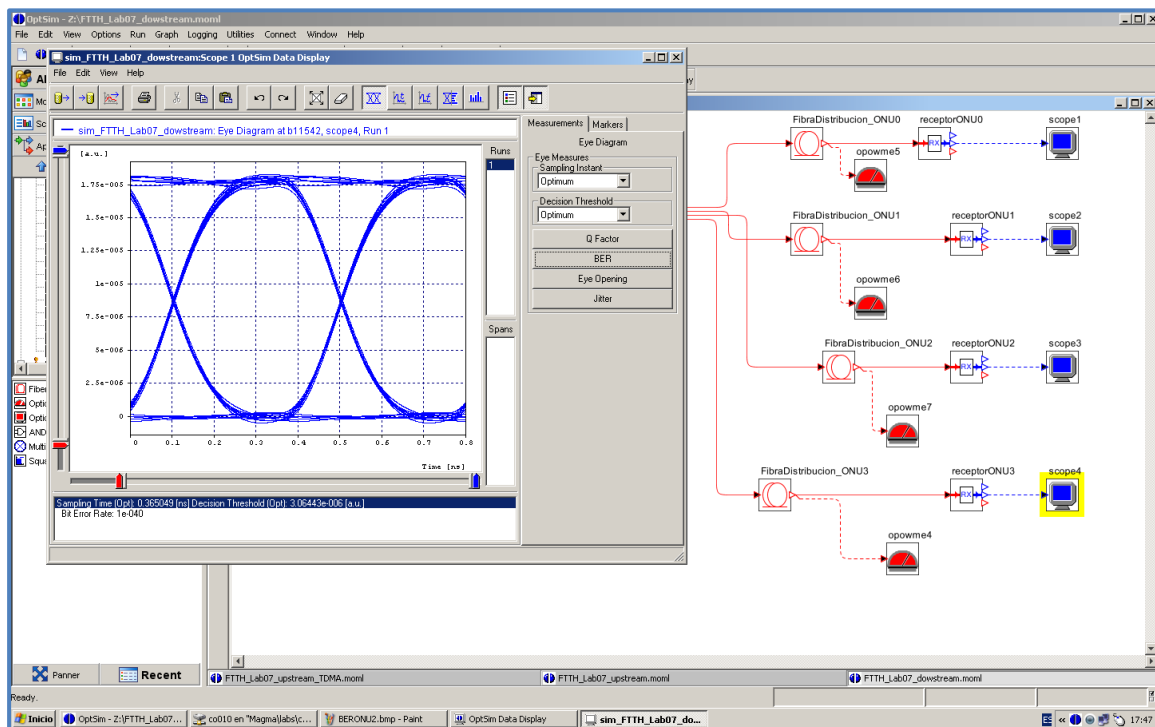


Figura 81. Diagrama de ojos y BER para la ONU 3 (potencia del láser 7,5 dBm)

En las Figuras 82, 83, 84 y 85 se muestran los resultados con una potencia de transmisión en el láser de 11 dBm. Se observa que los diagramas de ojos están totalmente limpios y la BER se corresponde con el nivel mínimo de 10^{-40} .

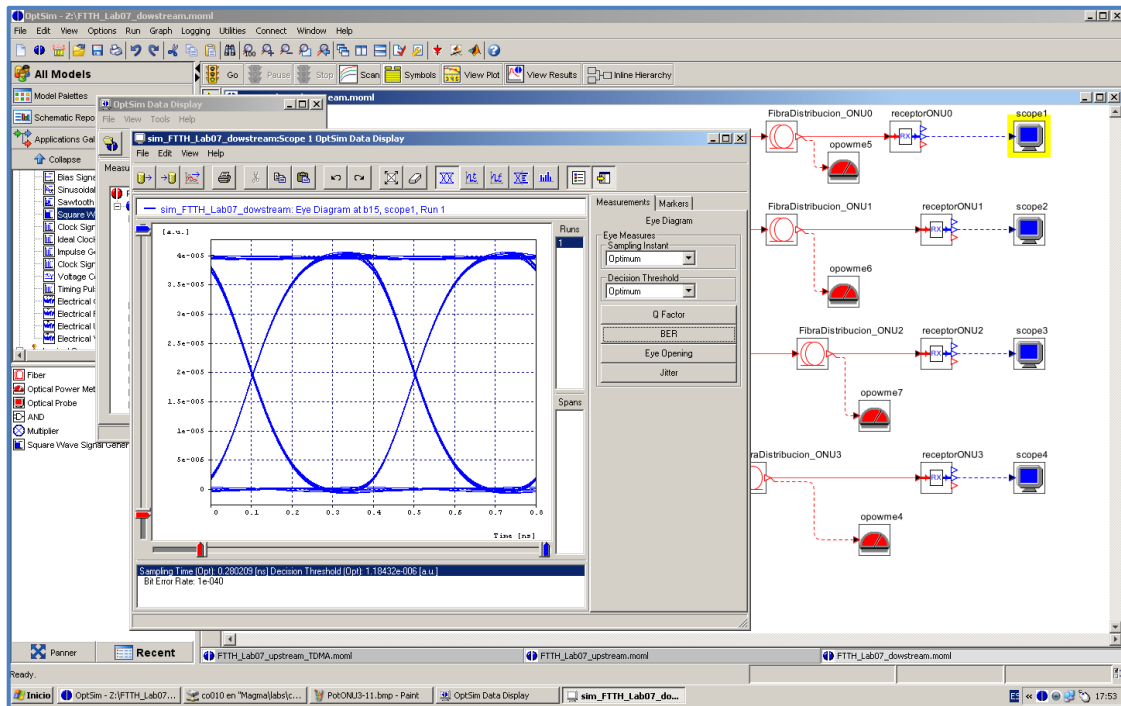


Figura 82. Diagrama de ojos y BER para la ONU 0 (potencia del láser 11 dBm)

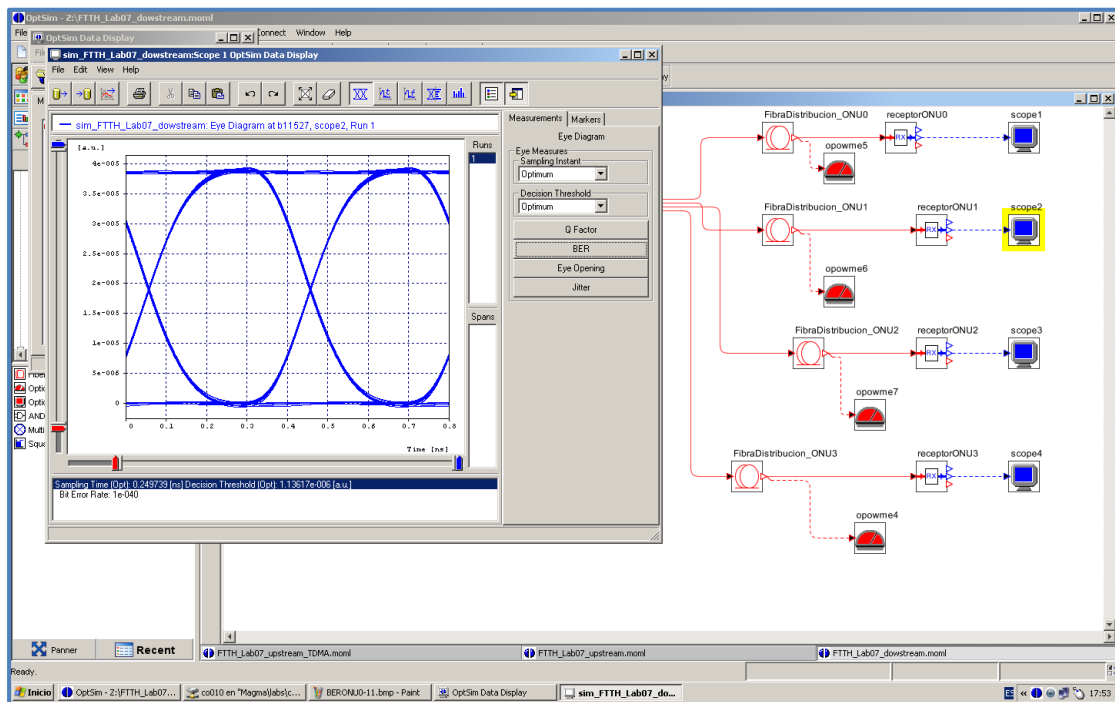


Figura 83. Diagrama de ojos y BER para la ONU 1 (potencia del láser 11 dBm)

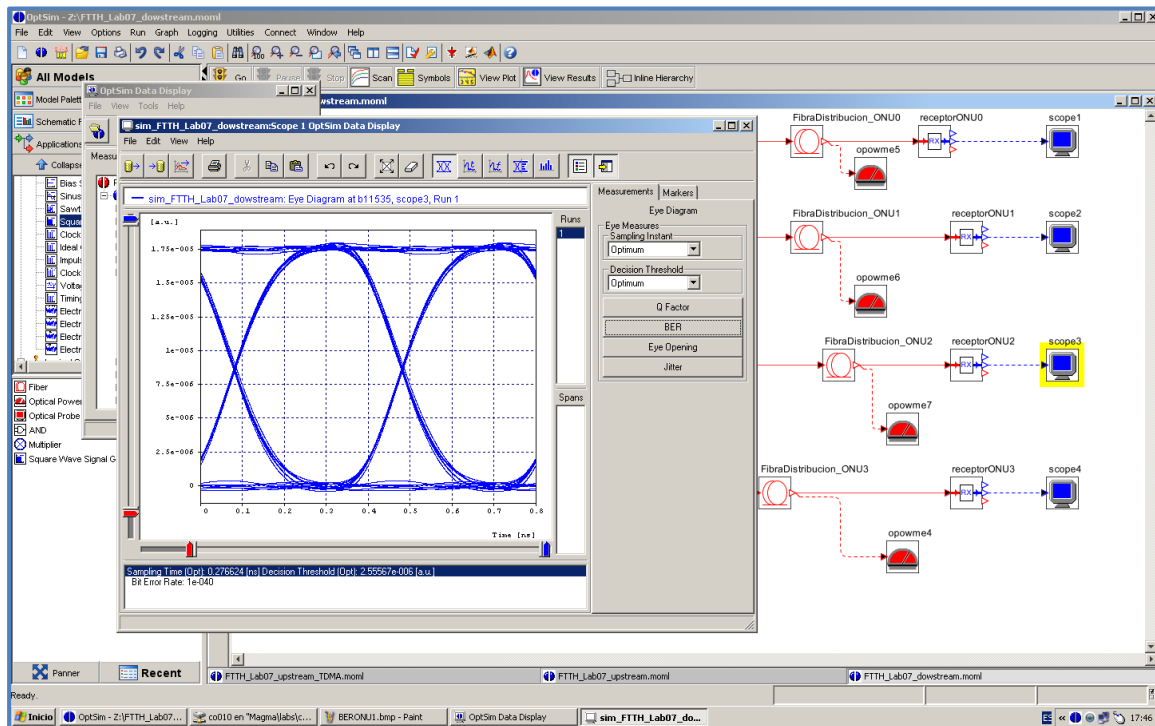


Figura 84. Diagrama de ojos y BER para la ONU 2 (potencia del láser 11 dBm)

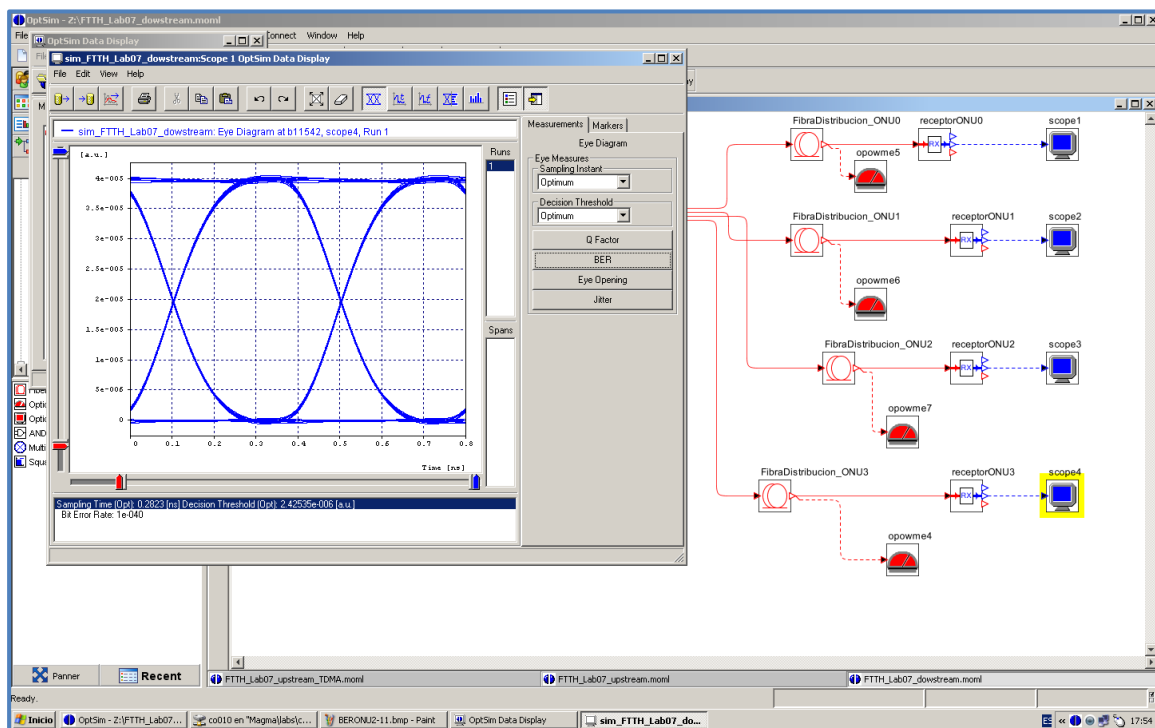


Figura 85. Diagrama de ojos y BER para la ONU 3 (potencia del láser 11 dBm)

Por lo tanto, se puede concluir de todas las gráficas anteriores, que el diagrama de ojos obtenido tiene unas líneas muy finas, con unas transiciones muy claras que permiten distinguir perfectamente cuando se está transmitiendo un 0 ó un 1. Esto significa que los niveles de ruido en la señal son muy pequeños y la transmisión es muy buena, como se puede deducir también del valor de la *BER* (*Bit Error Rate*), que es el más pequeño que muestra Optsim (10^{-40}). La *BER* (*Bit Error Rate*) es la tasa de error de bit, que nos indica cuantos bits erróneos se han recibido respecto a todos los que se han enviado.

4.5 Diseño y análisis de la red GPON en el canal ascendente usando Optsim

En este apartado de la memoria se va a emular en OpStim a nivel físico el montaje real del testbed GPON en el canal ascendente o *upstream*. Para ello, en primer lugar se explicará paso a paso el montaje y los componentes que hay que desplegar y a continuación se analizarán los resultados (potencias, diagramas de ojos, BER) y se compararán con los obtenidos a nivel real en la red GPON (Apartado 4.3).

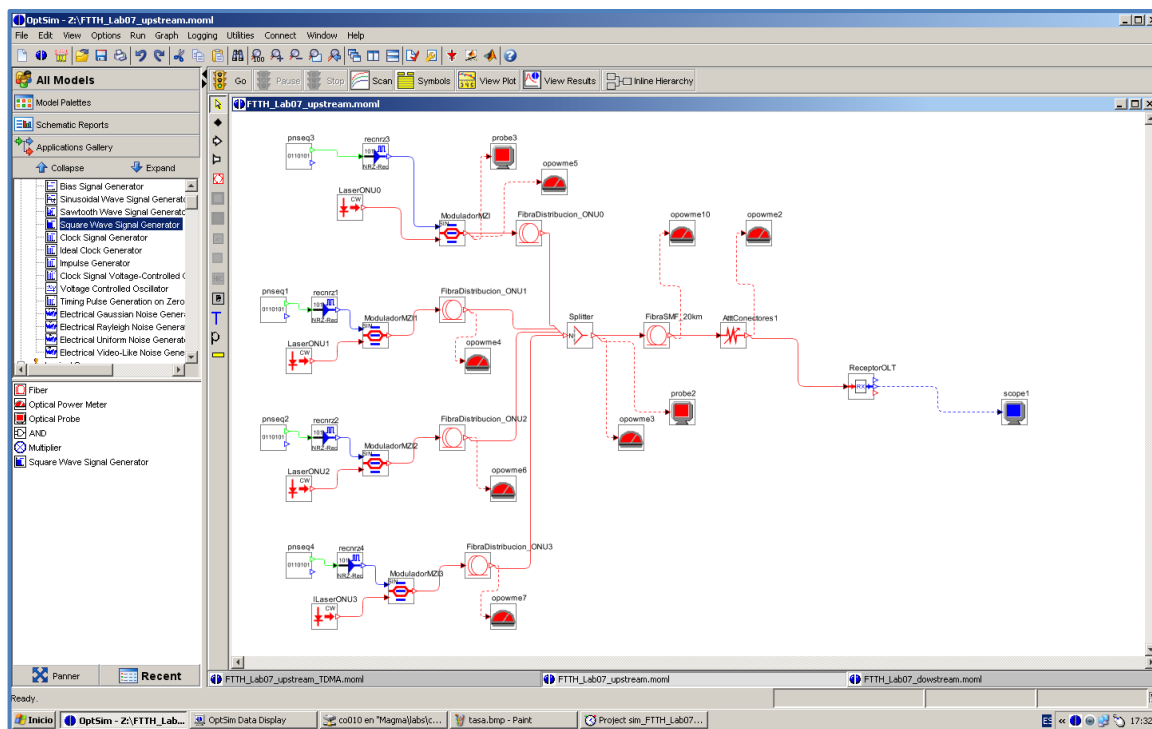


Figura 86. Montaje para simular el canal *upstream* en la plataforma OptSim

En la Figura 86 se muestra el montaje realizado para la simulación del canal de subida en OptSim. El transmisor estará formado por una fuente de datos digitales

(*Datasource*), un driver eléctrico (*Driver*), un láser (*Laser Diode*) y un modulador (*Amplitude modulator*), igual que para el canal *downstream*. En este caso, en lugar de un transmisor habrá cuatro, uno por cada ONU conectada a la red de acceso. En este montaje, los componentes se han nombrado de manera que se pueda identificar a qué ONU corresponden. Por ejemplo, el láser y modulador de la ONU 2 son los módulos con nombrados como “*LaserONU2*” y “*ModuladorMZI2*”. La manera de llevar los componentes al dibujo para realizar el montaje y de cambiar sus parámetros por defecto es la que se explicó en el apartado anterior.

Para comenzar, habrá que calcular la potencia de salida del láser. Sabemos que las ONTs/ONUs tienen una potencia de salida de entre -0,5 dBm y 5 dBm. Las pérdidas introducidas por el driver NRZ serán de 3 dB, igual que las introducidas por el modulador (valores tomados por defecto). Por tanto, la potencia de salida del láser será la que se muestra en la Ecuación 8 cuando consideramos el peor caso, esto es, cuando la salida de las ONTs/ONUs tenga el valor mínimo estipulado por el fabricante.

Potencia óptica a la salida del láser

$$\begin{aligned} &= \text{Potencia de salida del OLT} + \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\ &+ \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\ &= -0,5 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 5,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ecuación 8. Cálculo de la potencia de salida del láser para la potencia de transmisión mínima de la ONU

De la misma manera que para el canal *downstream*, los 20 kilómetros de fibra se han agrupado en un solo componente, llamado “*FibraSMF_20km*”, y las pérdidas por los conectores se han agrupado y representado con un atenuador, llamado “*AttConectores1*”.

Antes de realizar la simulación habrá que establecer los parámetros de los diferentes componentes de la red de acceso. Para comenzar se establece una tasa de transmisión de 1,25 Gb/s, modificando los parámetros de los bloques con nombre “*pnseqx*” (donde “*x*” será 1, 2, 3 ó 4), tal y como se observa en la Figura 87.

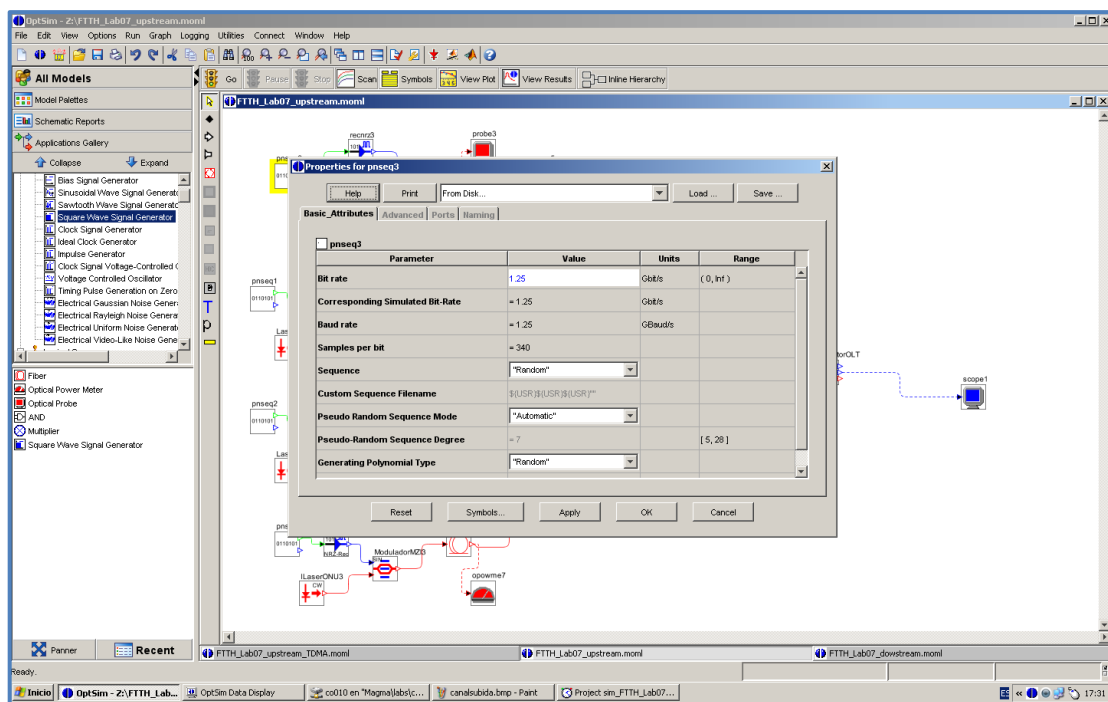


Figura 87. Modificación de tasa de transmisión en los láseres de las ONTs/ONUs

La señal transmitida será una señal NRZ y mantendrá los parámetros establecidos por defecto, tal y como se muestra en la Figura 88. Los bloques correspondientes a esta señal en el esquema son los que se han nombrado “*recnrzx*” (donde “*x*” será 1, 2, 3 ó 4).

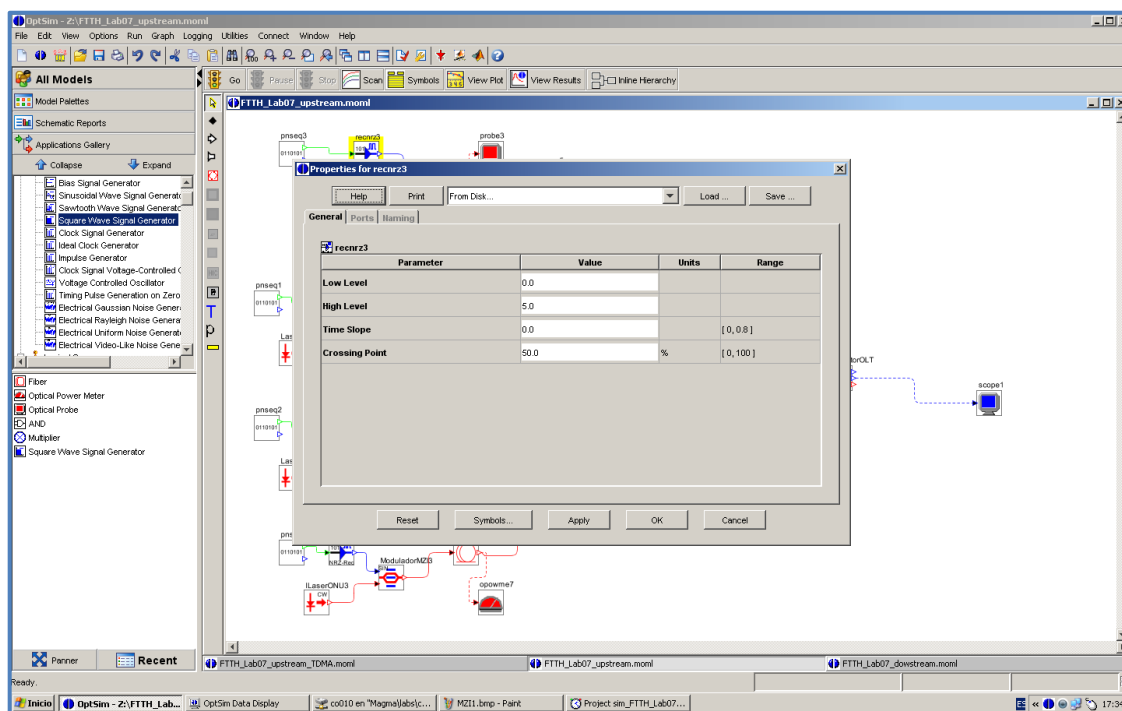


Figura 88. Parámetros por defecto de los bloques NRZ dentro de las ONTs/ONUs

Los moduladores MZI, nombrados como “*ModuladorMZIx*” (donde “*x*” será 1, 2 ó 3), también mantendrán los parámetros establecidos por defecto, tal y como se muestra en la Figura 89.

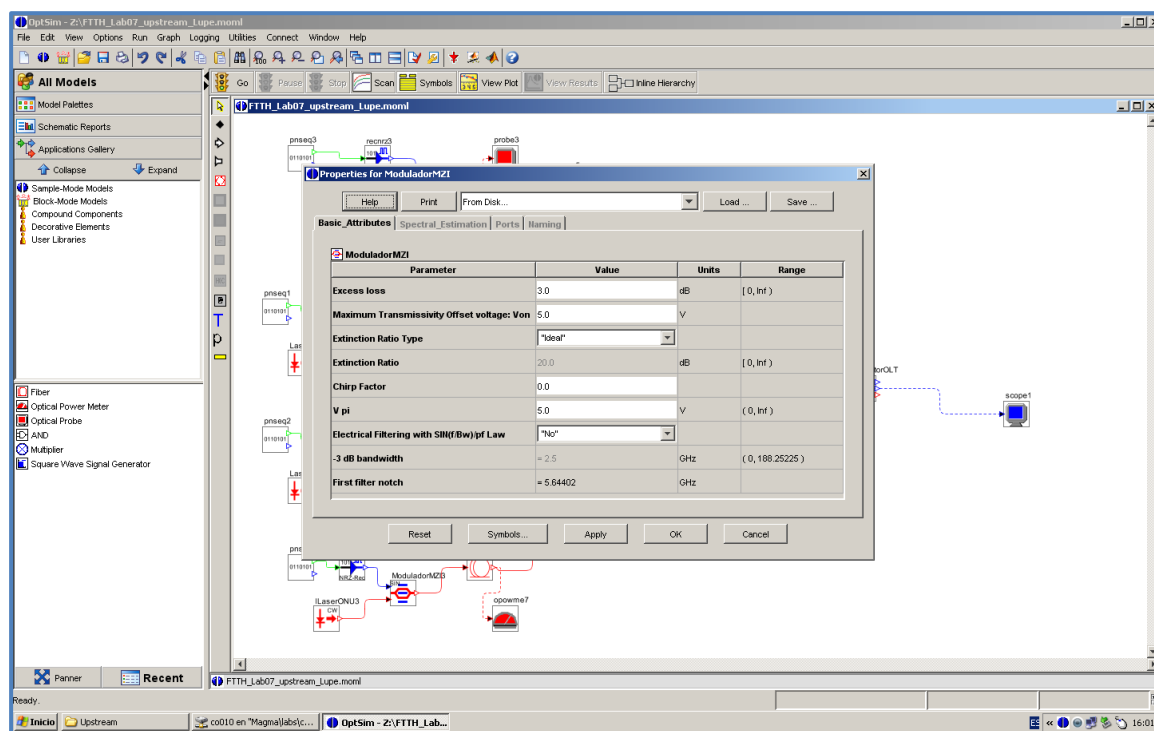


Figura 89. Parámetros por defecto de los moduladores MZI las ONTs/ONUs

Como se explicó en capítulos anteriores, en el canal de subida no transmiten todas las ONUs al mismo tiempo, ya que todas comparten la misma longitud de onda (1310 nm). Para establecer el orden en que transmiten las ONUs y durante cuanto tiempo se utiliza *TDMA* (*Time Division Multiple Access*). En el esquema utilizado para la simulación del balance de potencias, no se puede reproducir esta situación a nivel de protocolo. Por tanto, en el montaje en OptSim, solamente permitimos que una ONT/ONU transmita durante todo el tiempo de simulación y el resto no transmitan al mismo tiempo, por lo se ha hecho lo siguiente:

- La potencia de salida de una ONT/ONU que está transmitiendo durante el tiempo de simulación será de -0,5 dBm, potencia mínima a la que pueden transmitir las ONUs.

- La potencia de salida de las ONUs restantes, que no deberían transmitir durante este periodo de tiempo, la ponemos a un valor muy bajo (aproximadamente unos -36 dBm) de manera que apenas va a afectar a la potencia recibida por el OLT.

La potencia óptica a la salida del láser de la ONU que estará transmitiendo durante la simulación es la calculada en la Ecuación 8. Para las 3 ONUs restantes, la potencia óptica que se ha de especificar en los parámetros del láser será $-36 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = -30 \text{ dBm}$, teniendo en cuenta las pérdidas introducidas por el NRZ y el modulador.

El componente que corresponde con el láser de cada ONU se ha nombrado como “*LaserONUx*” (donde “x” será 0, 1, 2 ó 3), de manera que se pueda identificar a que ONU corresponde cada láser. Para modificar los parámetros del láser, se hará doble clic sobre su símbolo y se modificarán los parámetros de la potencia de salida y la longitud de onda de transmisión. El resto de los parámetros serán los establecidos por defecto.

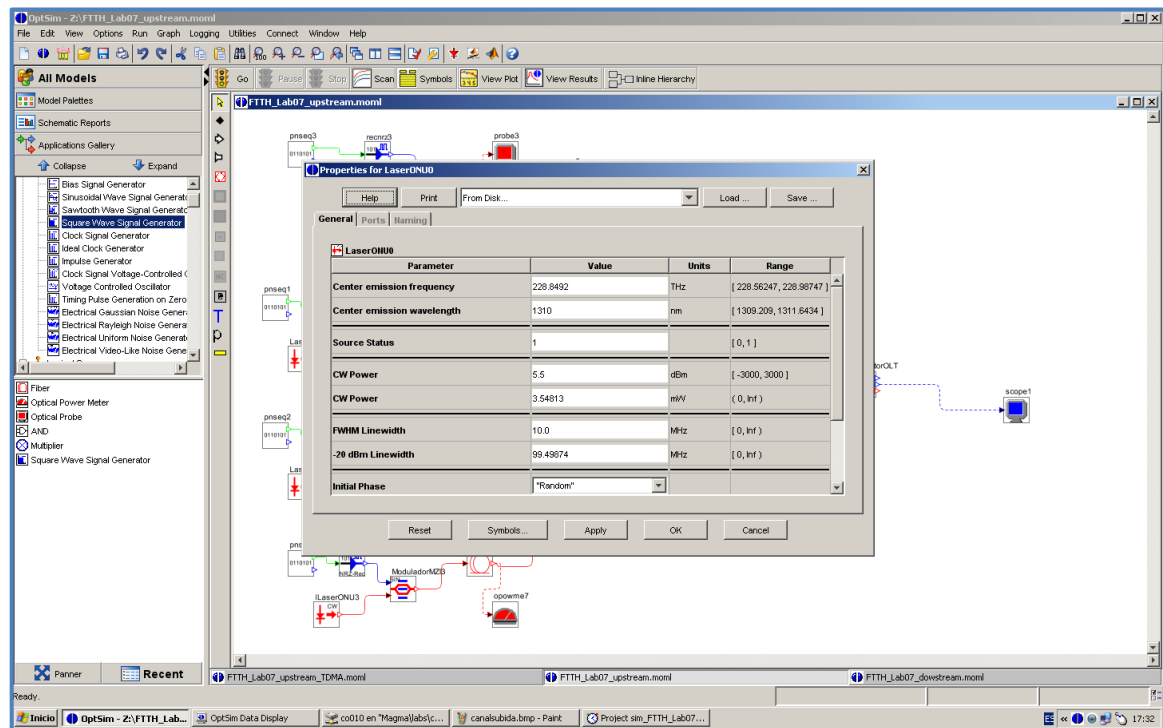


Figura 90. Parámetros establecidos para el láser de la ONU 0 en una de las simulaciones

En la Figura 90 se muestran los parámetros establecidos para el láser de la ONU 0 en una de las simulaciones realizadas. La potencia del láser establecida es de 5,5 dBm, lo

que significa que es la ONU 0 la que estará transmitiendo durante la simulación. La longitud de onda de transmisión del láser es 1310 nm, que es la que corresponde al canal *upstream*.

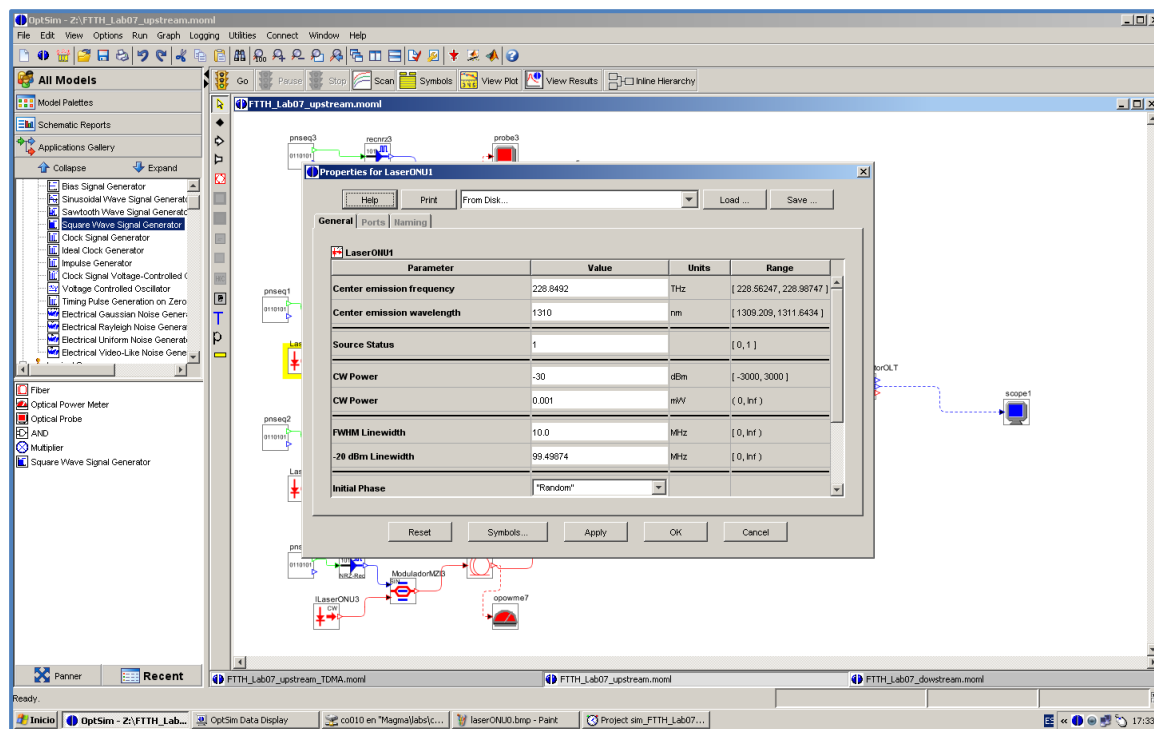


Figura 91. Parámetros establecidos para el láser de la ONU 1 para una de las simulaciones

En la Figura 91 se muestran los parámetros establecidos para el láser de la ONU1 en una de las simulaciones realizadas. La longitud de onda de transmisión es 1310 nm de nuevo, parámetro que se deberá establecer en el láser de todas las ONTs/ONUs. Sin embargo, la potencia del láser será muy pequeña y fijada a un valor de -30 dBm. Esto significa durante la simulación esta ONU no estará transmitiendo. El mismo comportamiento tendrán el resto de las ONTs/ONUs de la red.

Del mismo modo que para el canal *downstream*, habrá que establecer la atenuación y distancia de los distintos tramos de fibra óptica y las pérdidas introducidas por el *splitter* y los conectores.

De este modo, las distancias establecidas entre las diferentes ONUs y el *splitter* son las mismas que para el apartado anterior, es decir, 100 metros para la ONU 0, 500 metros

para la ONU 1, 300 metros para la ONU 2 y 100 metros para la ONU 3. El componente que corresponde a estos tramos de fibra se ha nombrado como “*FibraDistribucion_ONUx*” (donde “x” será 0, 1, 2 ó 3), de modo que se pueda identificar a que ONU corresponde. En las Figuras 92 y 93 se muestran los parámetros establecidos para el bloque “*FibraDistribucion_ONU0*”. La longitud de onda de transmisión en el canal *upstream* es 1310 nm con una atenuación de 0,4 dB/km, por tanto, debemos establecer estos valores en el parámetro correspondiente para todos los bloques “*FibraDistribucion_ONUx*”.

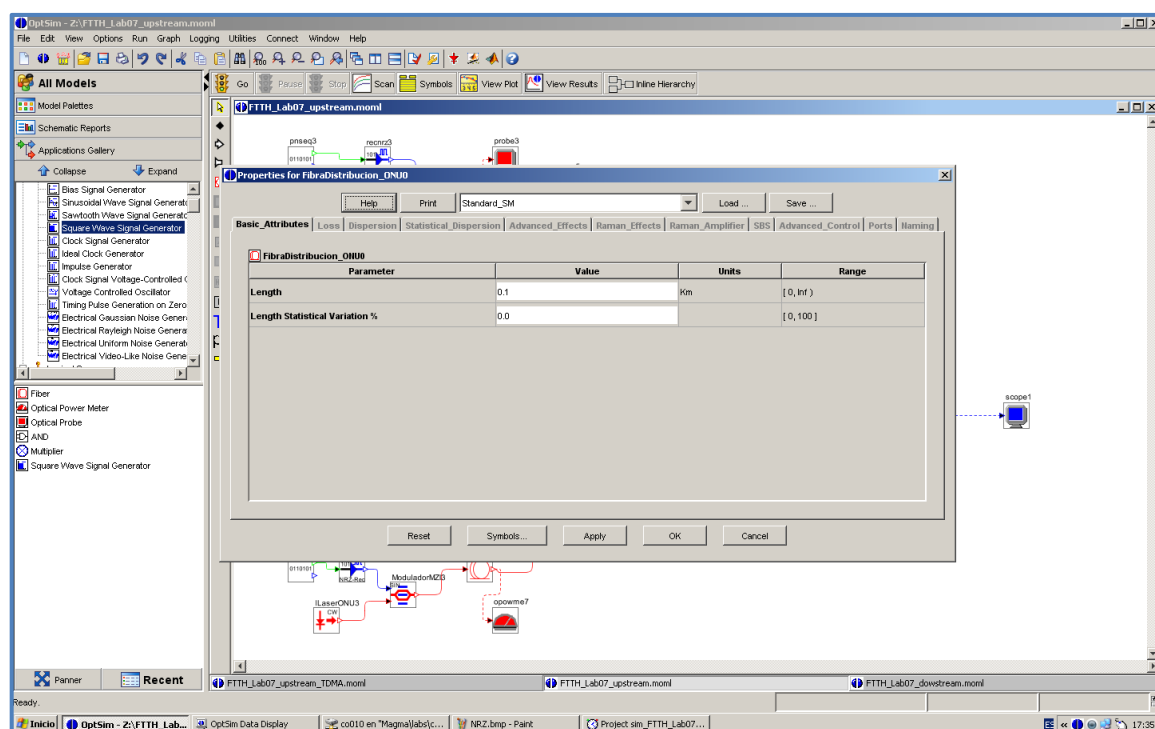


Figura 92. Distancia establecida entre la ONU 0 y el *splitter*

Las pérdidas introducidas por el *splitter* serán las mismas que para el canal *downstream*, con un valor de 9 dB, como se observa en la Figura 94. El bloque que representa este componente es el que se ha nombrado como “*Splitter*”.

A continuación, las pérdidas introducidas por los conectores se han agrupado en un solo componente, un atenuador. Como se observa en la Figura 95, estas pérdidas introducidas en el atenuador se fijarán a un valor de 6 dB (12 conectores con 0,5 dB cada uno).

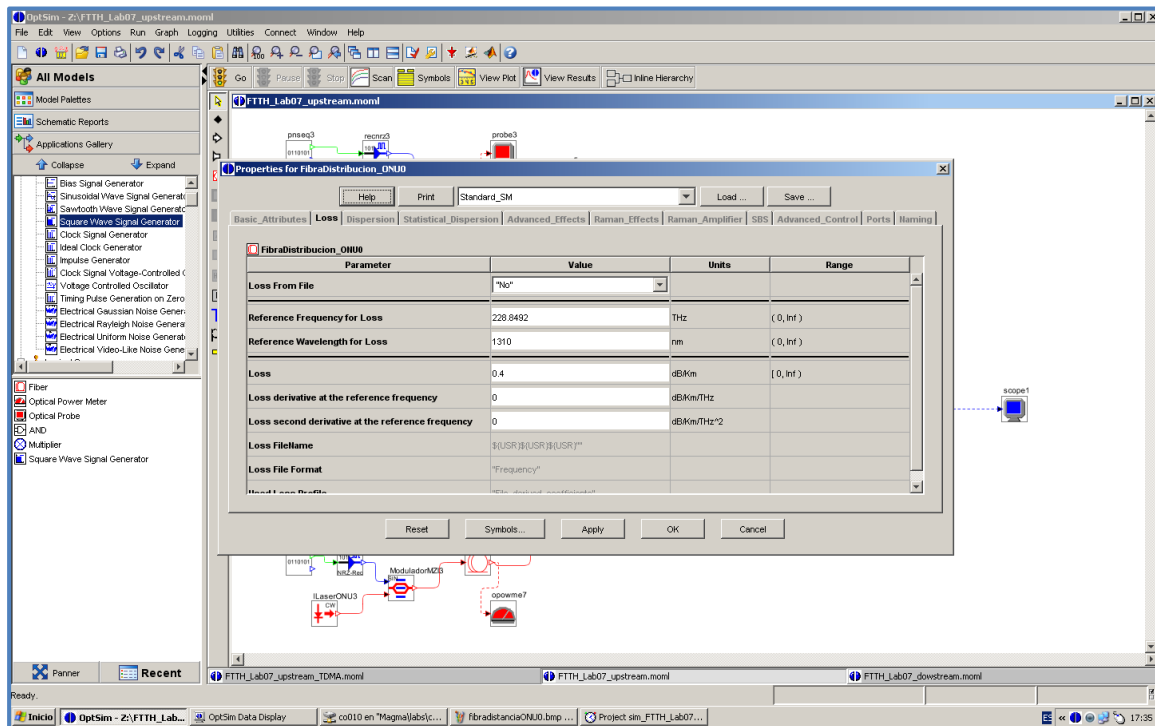


Figura 93. Longitud de onda y atenuación de la fibra óptica entre la ONU 0 y el *splitter* en el canal *upstream*

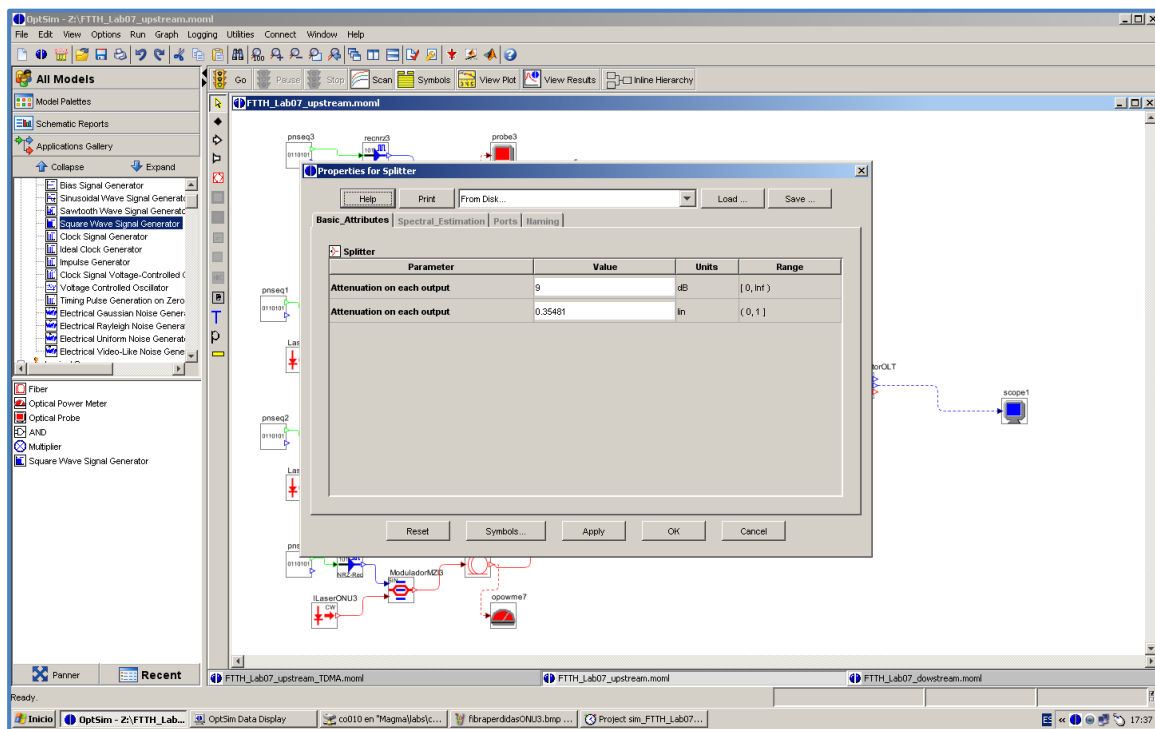


Figura 94. Pérdidas introducidas por el *splitter* en el canal *upstream*

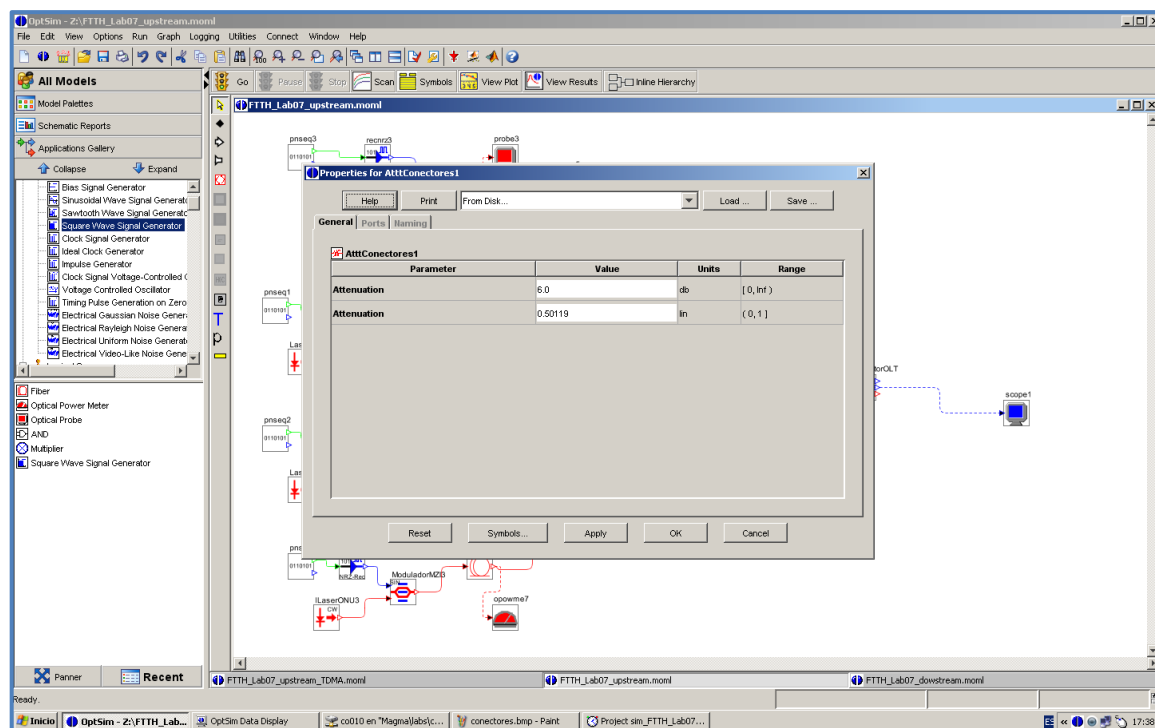


Figura 95. Pérdidas introducidas por los conectores

A continuación, la fibra óptica monomodo que une el *splitter* y el OLT tendrá una distancia de 20 kilómetros, tal y como se muestra en la Figura 96. Se modificarán los valores de la longitud de onda, que será 1310 nm (longitud de onda de transmisión para el canal *upstream*) con una atenuación de 0,4 dB/km, tal y como se observa en la Figura 97. Para modificar estos parámetros en el montaje habrá que hacer doble clic sobre el componente “*FibraSMF_20km*”.

Para terminar, se han de establecer los parámetros del receptor “*ReceptorOLT*”, especificando una tasa de transmisión de 1,25 Gb/s y una sensibilidad de -28 dBm. El resto de parámetros en el receptor conservarán el valor por defecto, tal y como se muestra en la Figura 98.

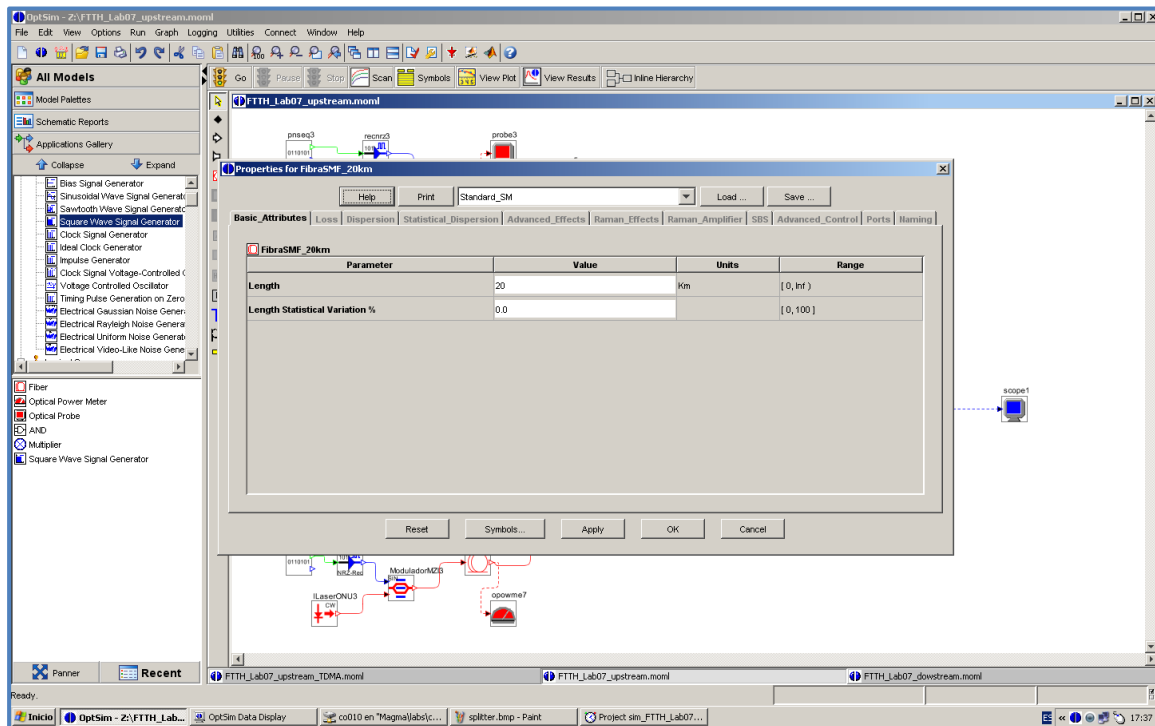


Figura 96. Distancia establecida para la fibra óptica entre el *splitter* y el OLT

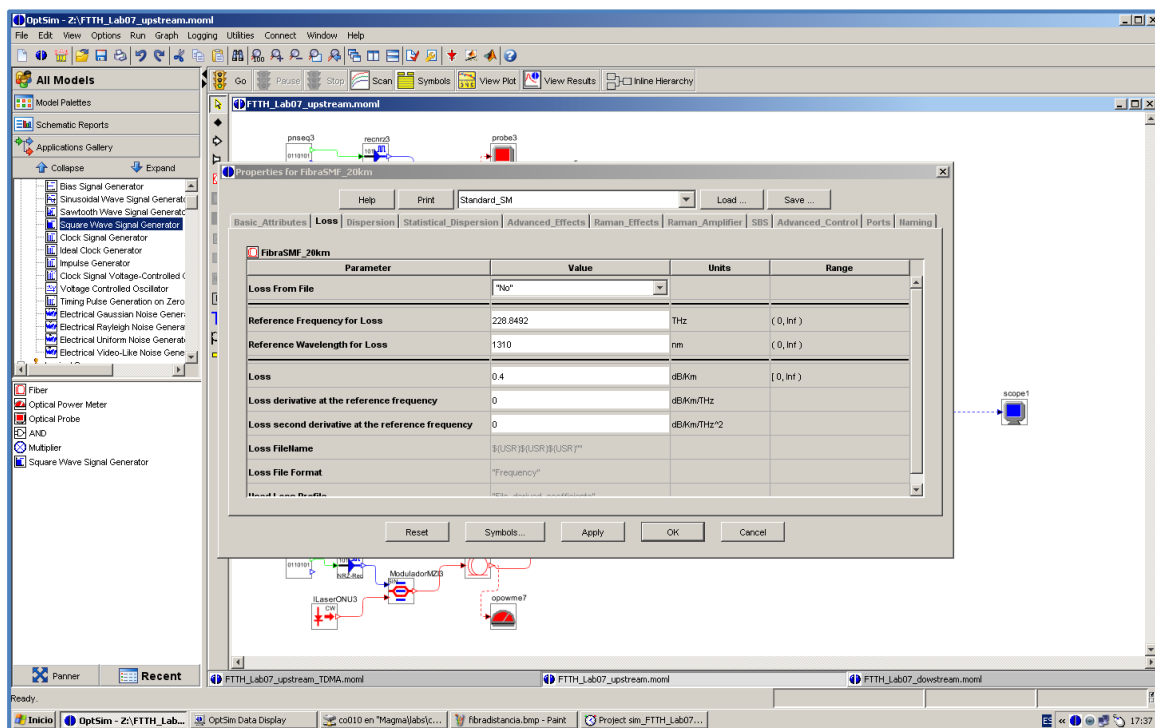


Figura 97. Longitud de onda y atenuación en la fibra óptica entre el *splitter* y el OLT

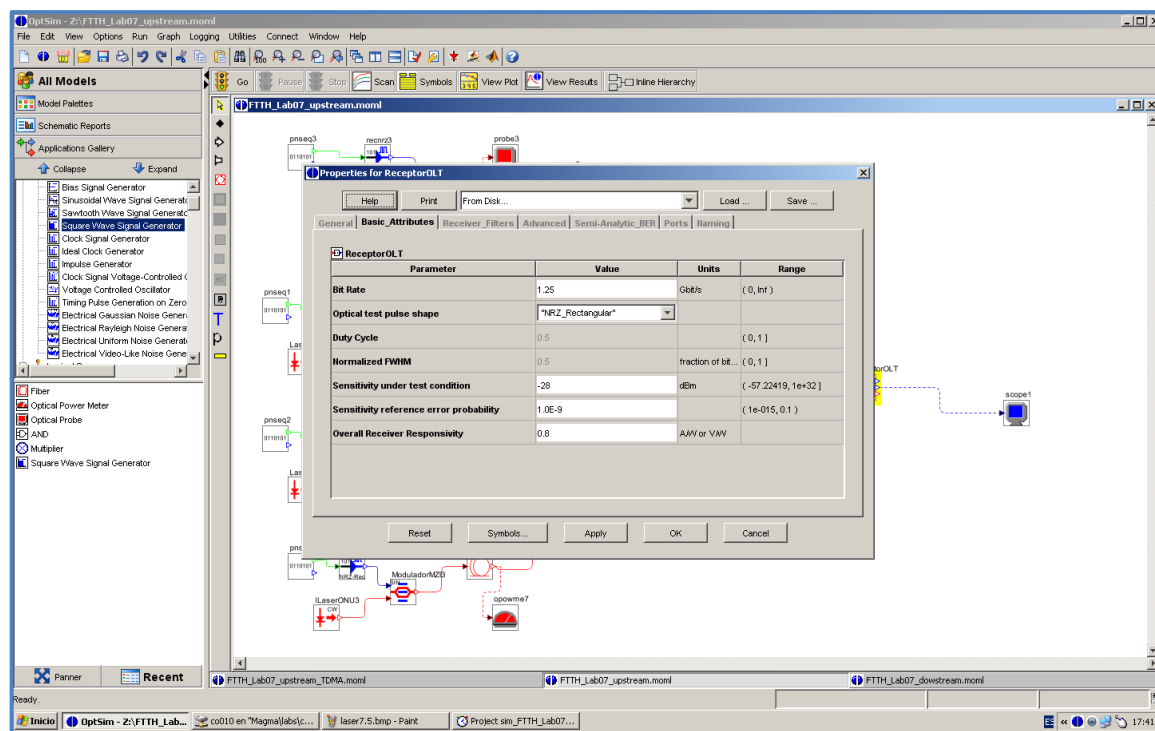


Figura 98. Parámetros del receptor (OLT)

Ahora, habrá que modificar los parámetros de la simulación como se explicó en el capítulo anterior. En este caso habrá que especificar una longitud de onda central de 1310 nm, que es la que corresponde al canal upstream, y una tasa de 1,25 Gb/s. Para ejecutar la simulación habrá que pulsar “Go” y después “Start: Sigle Run”. Se han realizado varias simulaciones, de manera que en cada una de ellas solo está transmitiendo una de las ONUs con la potencia del láser que hemos calculado, mientras las demás están transmitiendo a una potencia tan baja que apenas se detecta su señal. Los resultados de las diferentes simulaciones realizadas se muestran en la Tabla 5.

ONU	Potencia a la entrada del <i>splitter</i>	Potencia a la salida del <i>splitter</i>	Potencia después de 20 kilómetros de fibra óptica	Potencia recibida por el OLT
0	-0,561 dBm	-9,651 dBm	-17,515 dBm	-23,515 dBm
1	-0,44 dBm	-9,525 dBm	-17,484 dBm	-23,48 dBm
2	-0,512 dBm	-9,518 dBm	-17,463 dBm	-23,463 dBm
3	-0,452 dBm	-9,450 dBm	-17,413 dBm	-23,413 dBm

Tabla 5. Resultados obtenidos para el canal *upstream* con OptSim (laser 5,5 dBm)

Ahora, se calculará el valor teórico de la potencia recibida por el OLT teniendo en cuenta los datos seguidos en la simulación, esto es, considerando el parámetro de atenuación en la fibra para 1310 nm como 0,4 dB/km (aproximadamente, pero consideramos este valor), las pérdidas introducidas por el *splitter* a y las pérdidas introducidas por los conectores son 6 dB (12 conectores con 0,5 dB por cada uno). El cálculo teórico de esta potencia se muestra en la Ecuación 9. La atenuación debida a la fibra que se encuentra entre el *splitter* y las diferentes ONUs se va a despreciar para realizar los cálculos, igual que se hizo en el canal de bajada, ya que se han considerado las mismas distancias. El valor de potencia calculado es muy próximo a los valores que se han obtenido en la simulación, y que se mostraban en la Tabla 5.

Potencia recibida por el OLT

$$\begin{aligned} &= \text{Potencia de salida del láser} - \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\ &- \text{Atenuación en la fibra} - \text{Pérdidas introducidas por los conectores} \\ &- \text{Pérdidas introducidas por el splitter} \\ &= 5,5 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - \left(20 \text{ km} \times 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) \\ &- \left(12 \text{ conectores} \times 0,5 \frac{\text{dB}}{\text{conector}} \right) - 9 \text{ dB} = -23,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ecuación 9. Cálculo teórico de la potencia recibida por el OLT para la potencia de transmisión mínima de la ONT/ONU

El siguiente paso del estudio es realizar este mismo análisis, para la máxima potencia que es capaz de transmitir la ONT/ONU, que es de 5 dBm. Este valor es el mismo para el OLT y la ONU, por lo tanto la potencia de transmisión del láser será la que se calculó en la Ecuación 6. De nuevo, tendremos que realizar varias simulaciones, en las que una de las ONTs/ONUs esté transmitiendo y las demás transmitan a una potencia tan baja que se puede considerar que no están transmitiendo nada. En este caso los valores de potencia obtenidos se muestran en la Tabla 6.

ONU	Potencia a la entrada del <i>splitter</i>	Potencia a la salida del <i>splitter</i>	Potencia después de 20 kilómetros de fibra óptica	Potencia recibida por el OLT

0	4,939 dBm	-4,061 dBm	-12,055 dBm	-18,055 dBm
1	5,060 dBm	-3,966 dBm	-11,967 dBm	-17,967 dBm
2	4,988 dBm	-4,016 dBm	-11,963 dBm	-17,983 dBm
3	5,048 dBm	-3,952 dBm	-11,936 dBm	-17,935 dBm

Tabla 6. Resultados obtenidos para el canal *upstream* con OptSim (laser 11 dBm)

El valor teórico de potencia óptica que recibirá el OLT si la ONU transmite 5dBm, es el calculado en la Ecuación 10. De nuevo, se puede comprobar que el valor obtenido en la simulación es muy próximo al calculado de forma teórica. Ahora, se puede establecer un rango para las potencias recibidas por el OLT en el canal de subida, que comprendería valores entre -18 dBm y -23,5 dBm. Si observamos los valores que se muestran en la Tabla 2, podemos comprobar que la potencia real recibida por el OLT que refleja el TGMS se encuentra dentro de este rango de valores. Es decir, que el valor real, que es el que muestra el TGMS, se encuentra dentro del rango de valores teóricos, que además se han comprobado mediante la simulación en Optsim.

Potencia recibida por el OLT

$$\begin{aligned}
 &= \text{Potencia de salida del láser} - \text{Pérdidas introducidas por driver NRZ} \\
 &- \text{Pérdidas introducidas por modulador de amplitud} \\
 &- \text{Atenuación en la fibra} - \text{Pérdidas introducidas por los conectores} \\
 &- \text{Pérdidas introducidas por el splitter} \\
 &= 11 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - \left(20 \text{ km} \times 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}}\right) \\
 &- \left(12 \text{ conectores} \times 0,5 \frac{\text{dB}}{\text{conector}}\right) - 9 \text{ dB} = -18 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Ecuación 10. Cálculo teórico de la potencia recibida por el OLT para la potencia de transmisión máxima de la ONT/ONU

Por último, se muestran los diagramas de ojos y BER obtenidos para las diferentes simulaciones, considerando la mínima y la máxima potencia óptica de los láseres. Del mismo modo que para el canal de bajada, la transmisión es muy buena, con un diagrama de ojos muy claro, en el que se distingue perfectamente el bit que se está transmitiendo. Los valores de la *BER* (*Bit Error Rate*) también son muy pequeños, igual que en el caso anterior. De nuevo, se puede deducir que los niveles de ruido en la señal son muy pequeños y la calidad de la transmisión la adecuada.

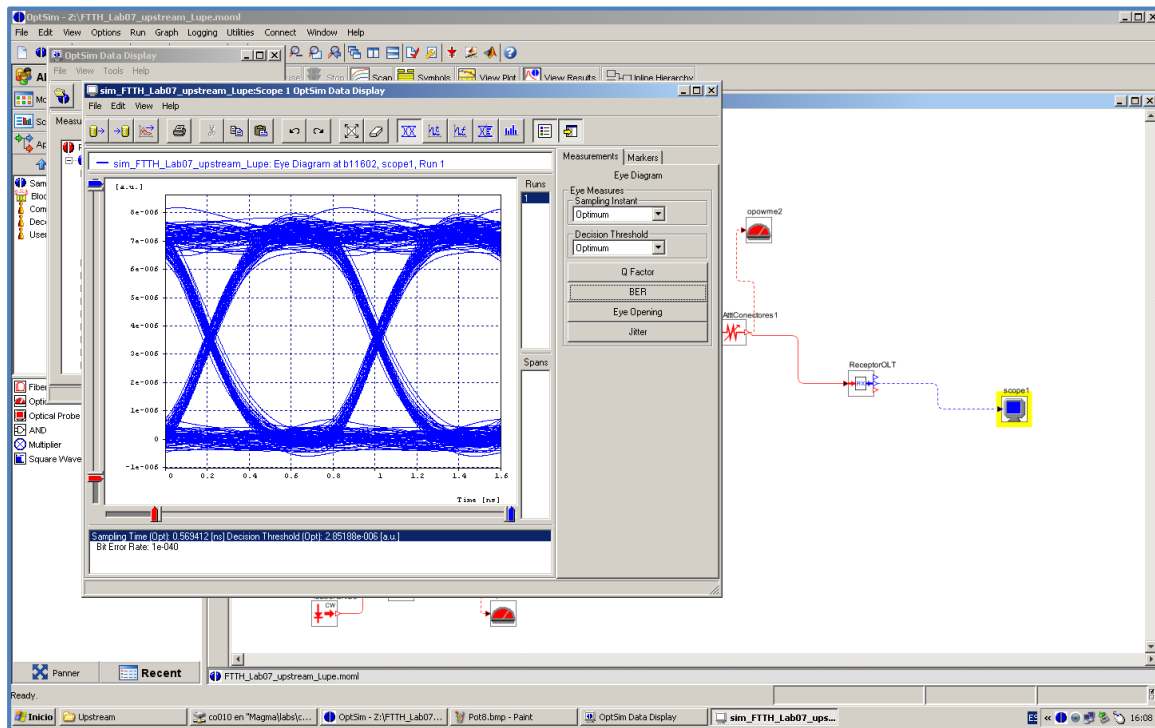


Figura 99. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 0 (laser 5,5 dBm)

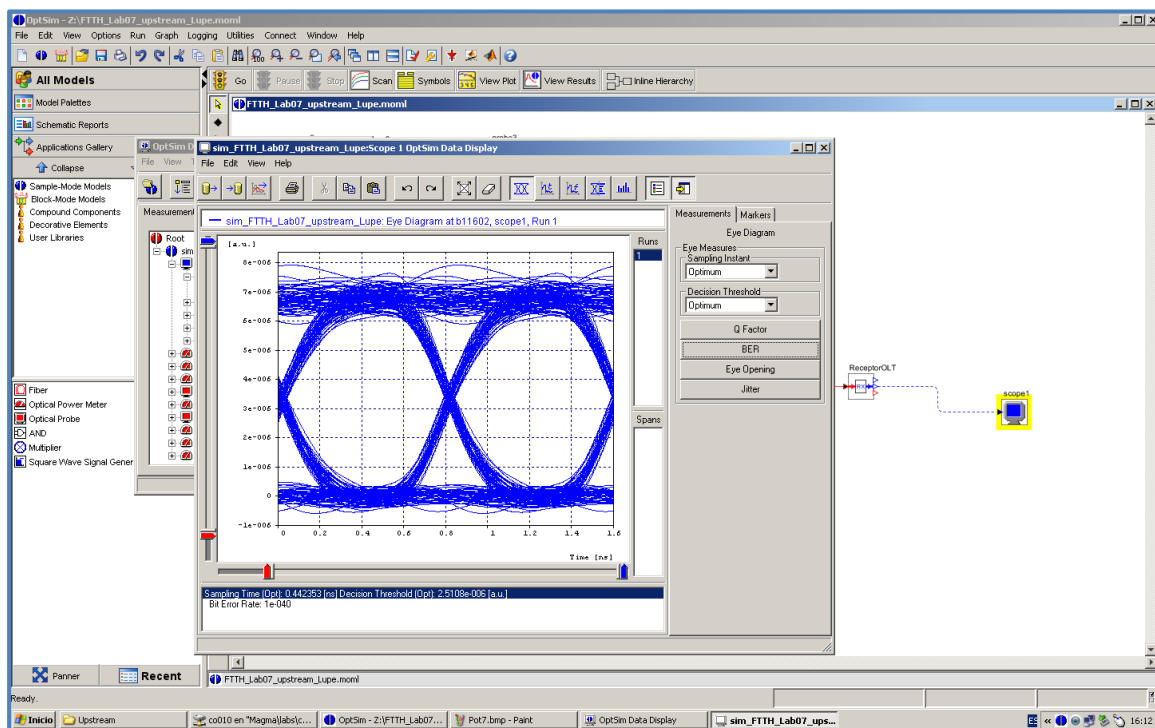


Figura 100. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 1 (laser 5,5 dBm)

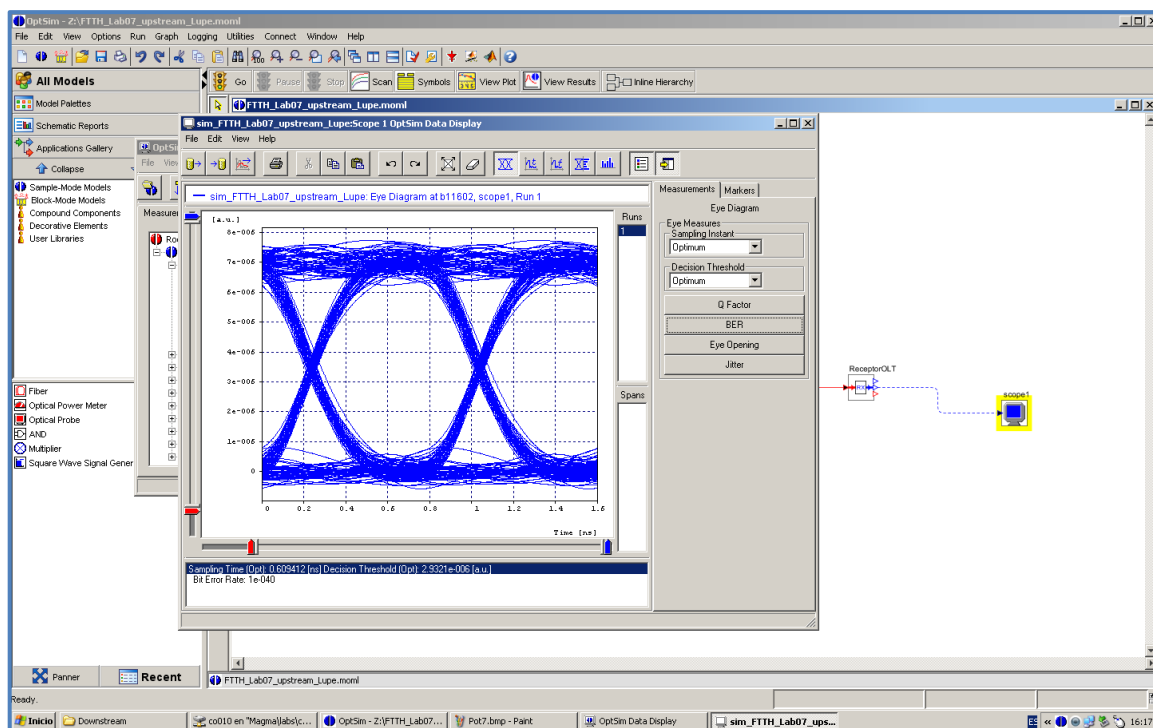


Figura 101. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 2 (laser 5,5 dBm)

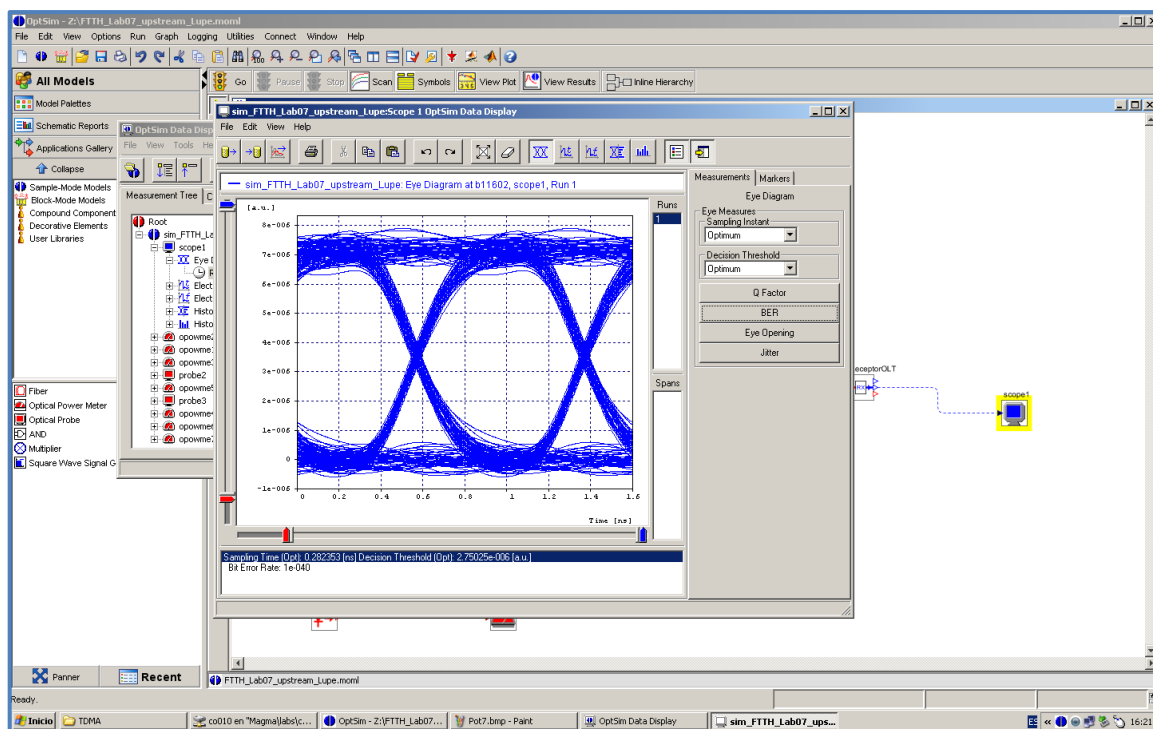


Figura 102. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 3 (laser 5,5 dBm)

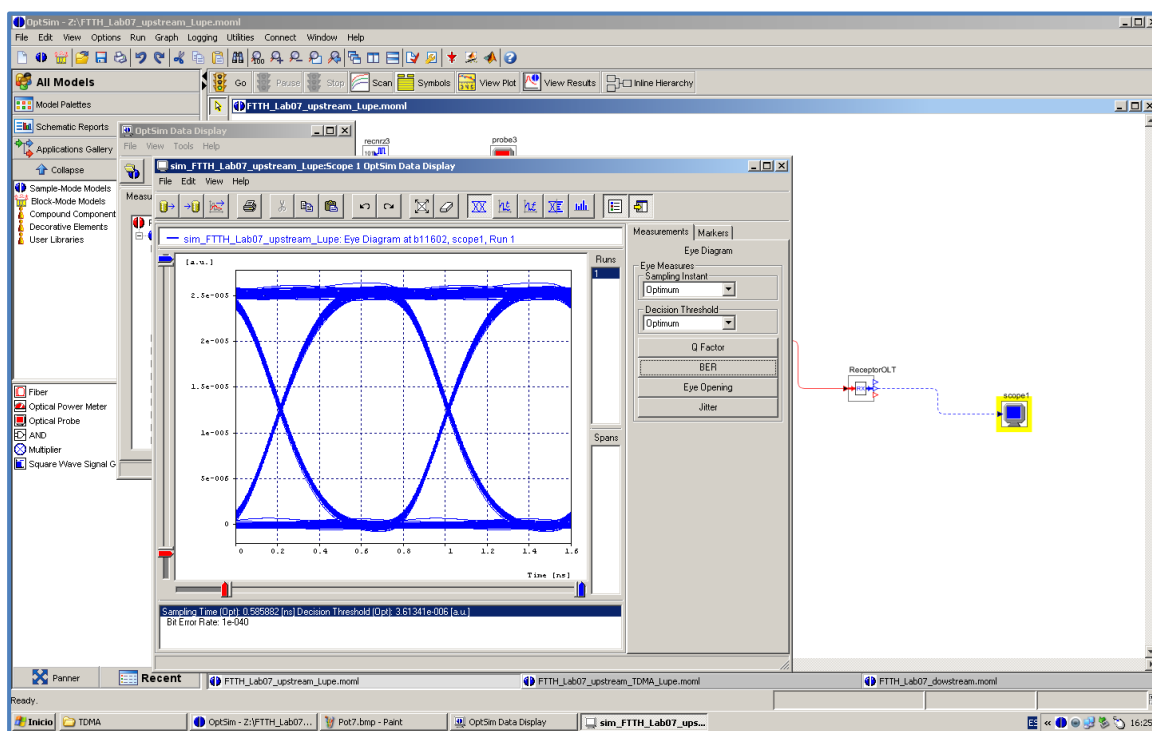


Figura 103. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 0 (laser 11 dBm)

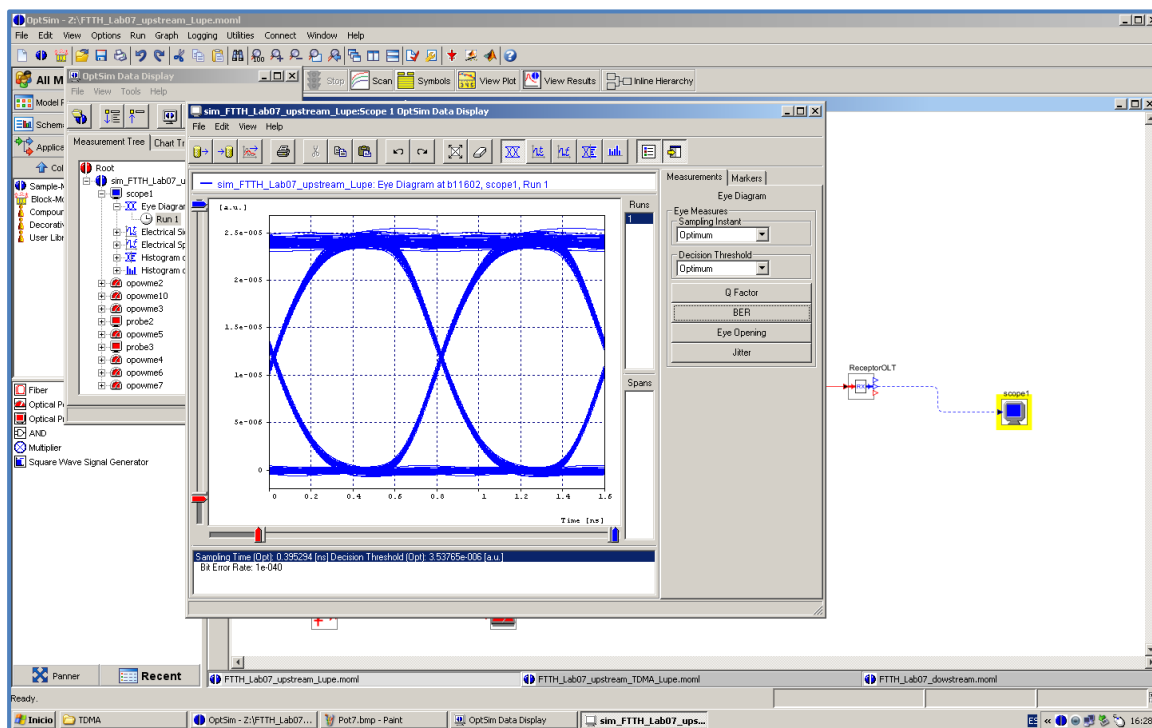


Figura 104. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 1 (laser 11 dBm)

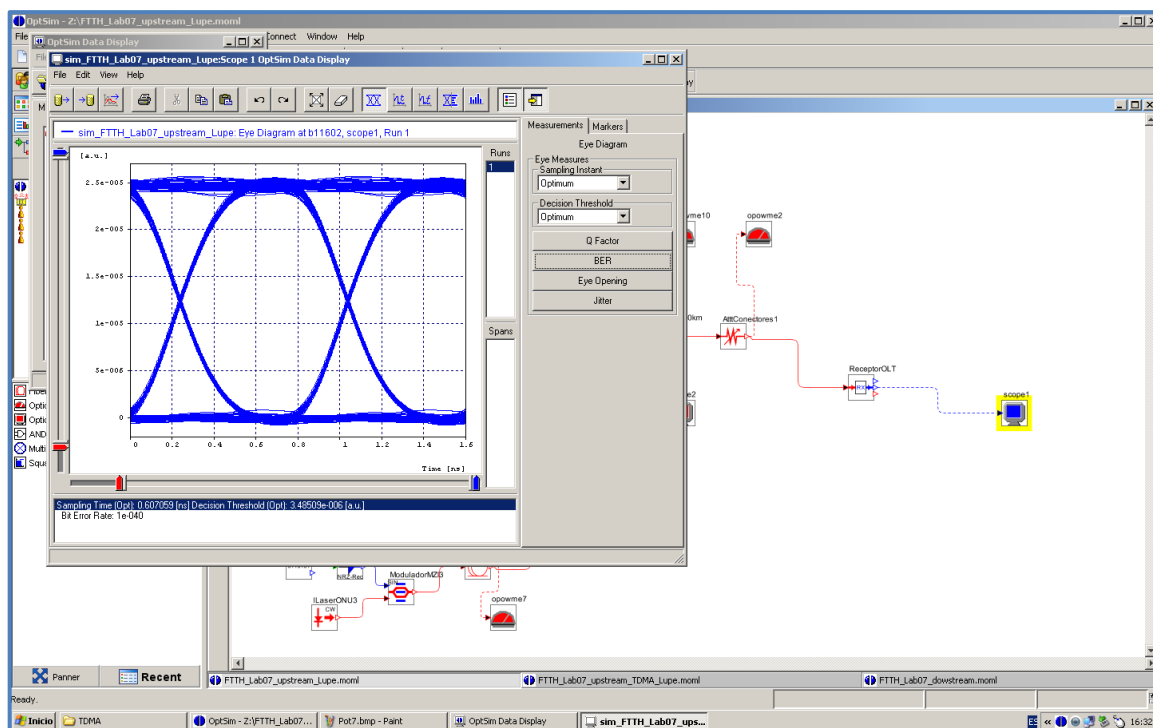


Figura 105. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 2 (laser 11 dBm)

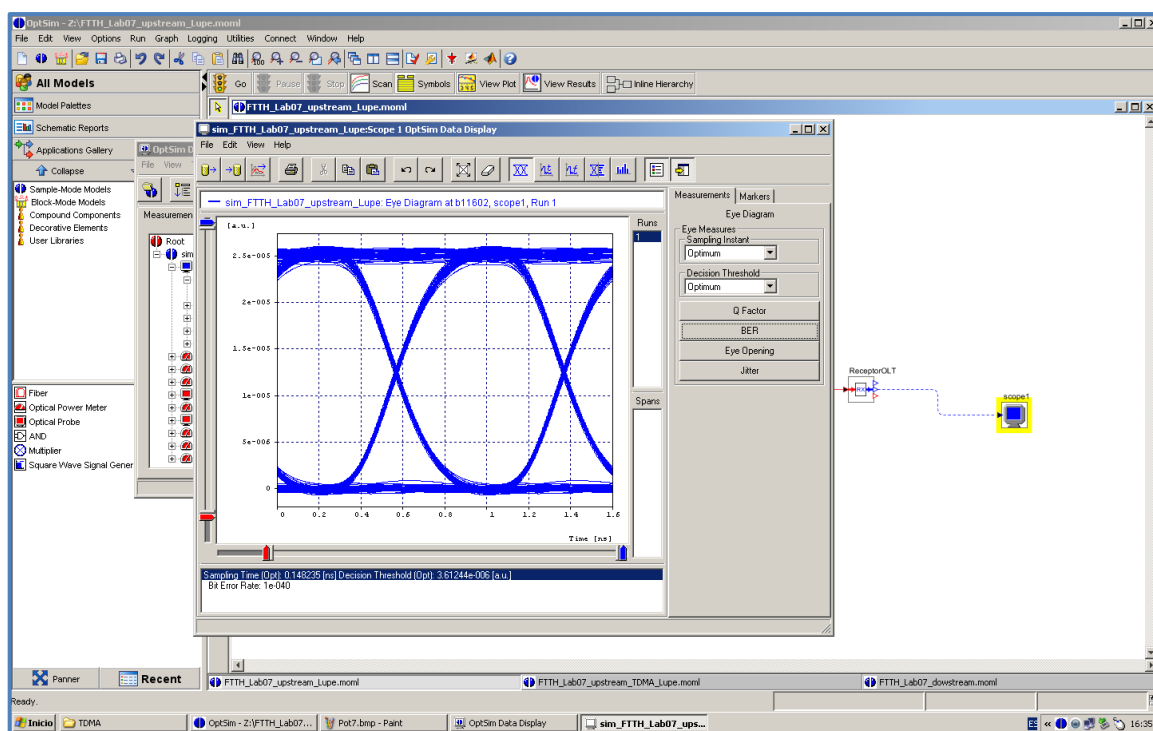


Figura 106. Diagrama de ojos y BER cuando transmite la ONU 3 (laser 11 dBm)

Por otro lado, anteriormente se ha comentado que en el canal *upstream* las ONTs/ONUs transmiten utilizando TDMA (*Time Division Multiple Access*). Esto

significa que, el tiempo de transmisión en un ciclo se divide entre las diferentes ONTs/ONUs, de manera que todos los elementos de la red de acceso están sincronizados y no se producen colisiones. Para medir la potencia recibida, necesitamos que una única ONU transmitiera durante toda la simulación y el resto no, por lo que no es posible implementar el comportamiento de TDMA, ya que se dividiría el tiempo de la simulación entre las 4 ONUs. Ahora que ya hemos medido la potencia recibida por el OLT, se realizará otro montaje en Optsim, para simular el funcionamiento real de la red de acceso, implementando el comportamiento del control de acceso TDMA propio de una red GPOM. Este montaje en OptSim es el que se presenta en la Figura 107.

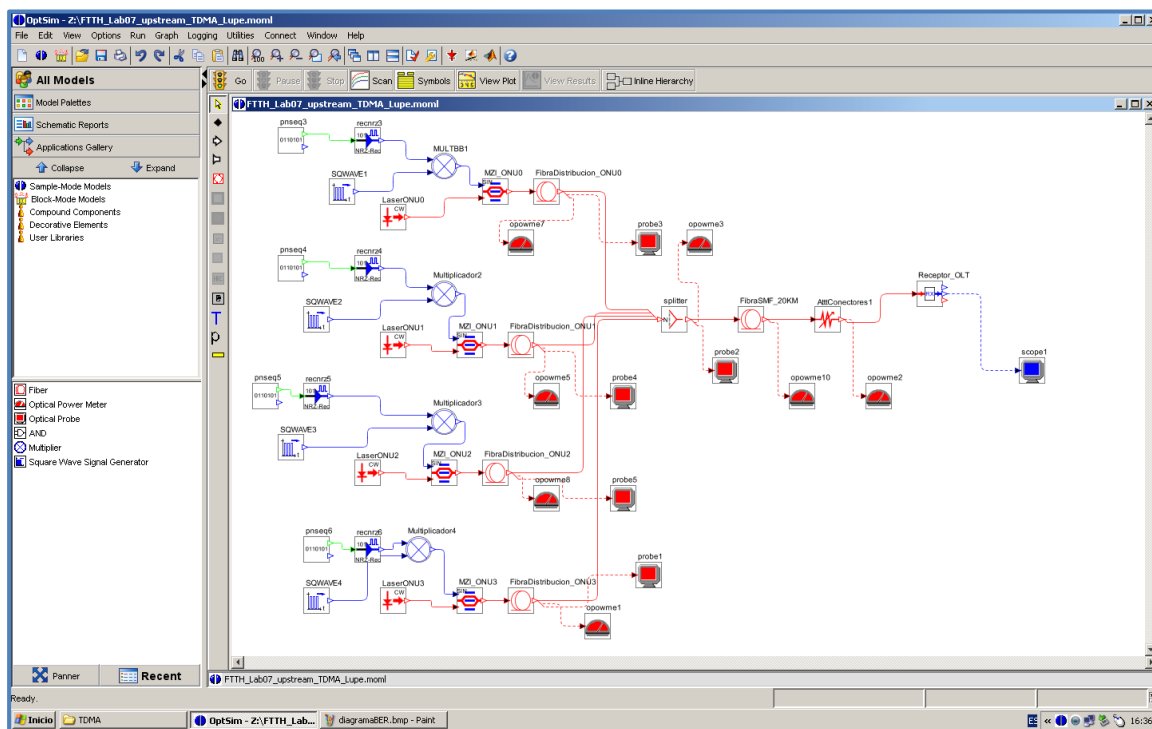


Figura 107. Montaje de la red de acceso con control de acceso al medio TDMA

Este montaje es el mismo que el utilizado para la simulación del canal *upstream*, con la diferencia principal de que la señal NRZ de cada ONU está multiplicada por un pulso cuadrado de una duración determinada, lo que significa que cada ONU solo podrá transmitir durante un tiempo determinado. El bloque que genera el pulso es “*SQWAVE_x*” (donde “*x*” será 1, 2, 3 ó 4). Los pulsos y su duración (en %) que generan estos bloques se muestran en la Figura 108, siendo el pulso de la parte de arriba el correspondiente a la ONU 0 y el de la parte de abajo el correspondiente a la ONU 3.

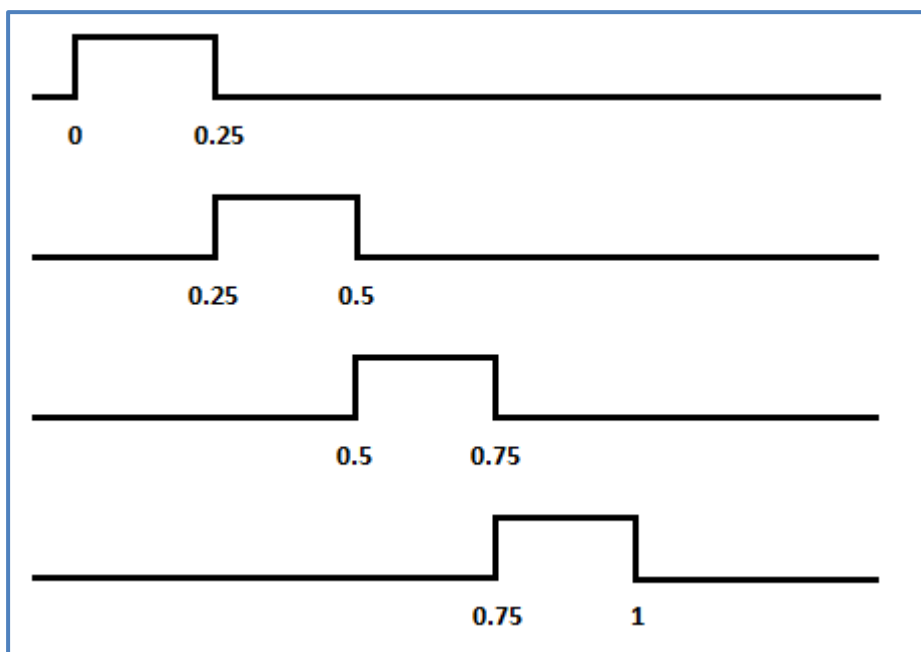


Figura 108. Pulsos que generan los bloques "SQWAVEx" representados en %

Como se observa en la Figura 108, cada pulso tiene lugar durante un tiempo determinado. Además, todos tienen establecido el momento temporal en el que empiezan y terminan, de manera que nunca tengan lugar dos pulsos al mismo tiempo. Al multiplicar la señal NRZ de cada ONU por uno de estos pulsos nos aseguramos de que solo esté transmitiendo una única ONU. Así, sabemos que si la simulación tuviera una duración de 10 segundos, durante los primeros 2,5 segundos transmite la ONU 0, a partir de este instante comienza a transmitir la ONU 1 hasta los 5 segundos, después comienza a transmitir la ONU2 hasta los 7,5 segundos y por último transmite la ONU 3 hasta completar los 10 segundos. Es decir, que cada ONU podrá transmitir durante el 25% del tiempo que dura la simulación, en el orden establecido. Para que los pulsos generados sean como los que se muestran en la Figura 108 hay que establecer los parámetros de los bloques "SQWAVEx" de una forma concreta. A modo de ejemplo, para "SQWAVE1" habrá que establecer los siguientes valores:

- "Bit Rate" de 0,0125 (tasa de transmisión dividida entre 100).
- "Period Edge with respect to Simulation Start" será 0, para que empiece cuando comience la simulación.
- "Duty cycle" será 75%. Esto significa que el 75% del tiempo tomará el valor que se indique en el campo que aparece justo debajo, en este caso cero, y el resto del tiempo tomará el valor 1 (25%).

En la Figura 109 se muestran los valores de estos parámetros para “*SQWAVE1*”, de manera que será un pulso que comience en el instante de tiempo cero (al principio de la simulación), tendrá un valor 0 el 75% del tiempo, y un valor 1 el 25% restante.

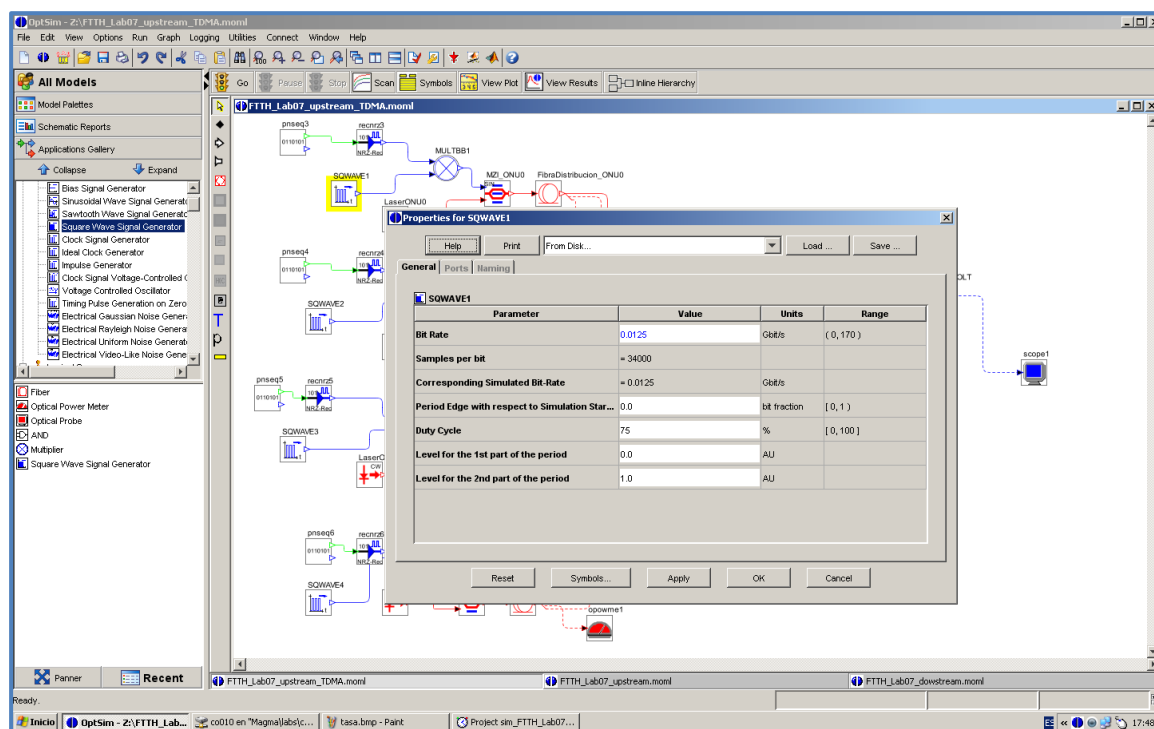


Figura 109. Parámetros de “*SQWAVE1*” para establecer el tiempo de transmisión de la ONU 1

En la Figura 110 se muestra la configuración establecida para “*SQWAVE2*”, esto es, para la ONU 2. De este modo, se establecerá un pulso que comience en el instante de tiempo 0,25 y con un valor 0 el 75% del tiempo y un valor 1 el 25% restante. Del mismo modo, en la Figura 111 se muestra la configuración establecida para “*SQWAVE3* (ONU 3), de manera que el pulso comienza en el instante de tiempo 0,5 y tendrá un valor 0 el 75% del tiempo, y un valor 1 el 25% restante. Finalmente, en la Figura 112 se muestra la configuración establecida para “*SQWAVE4*” (ONU 4), de manera que será un pulso que comience en el instante de tiempo 0,75 (valor de 0 el 75% del tiempo y 1 el 25%).

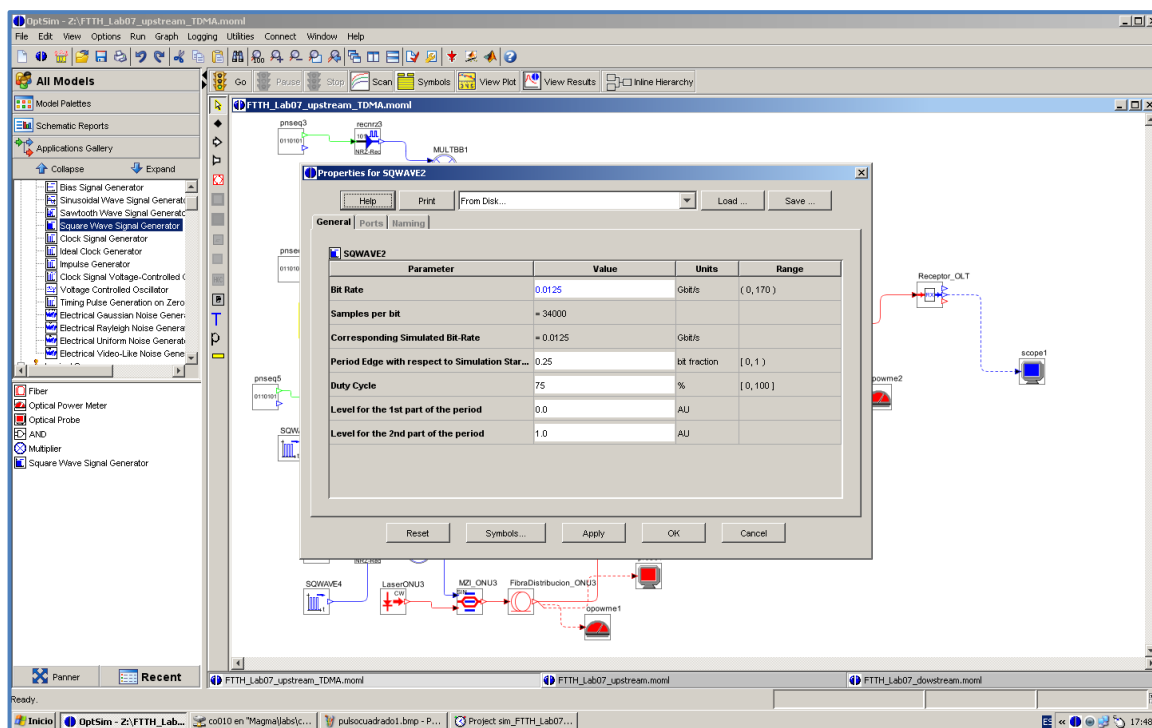


Figura 110. Parámetros de "SQWAVE2" para establecer el tiempo de transmisión de la ONU 2

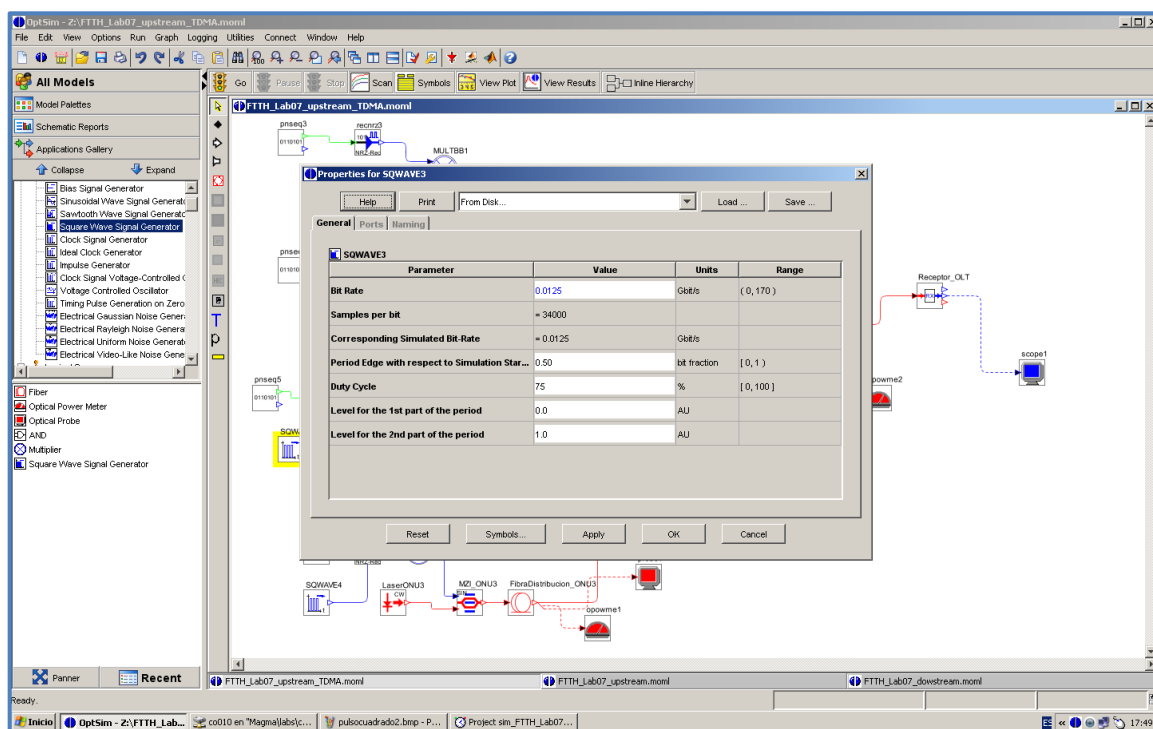


Figura 111. Parámetros de "SQWAVE3" para establecer el tiempo de transmisión de la ONU 3

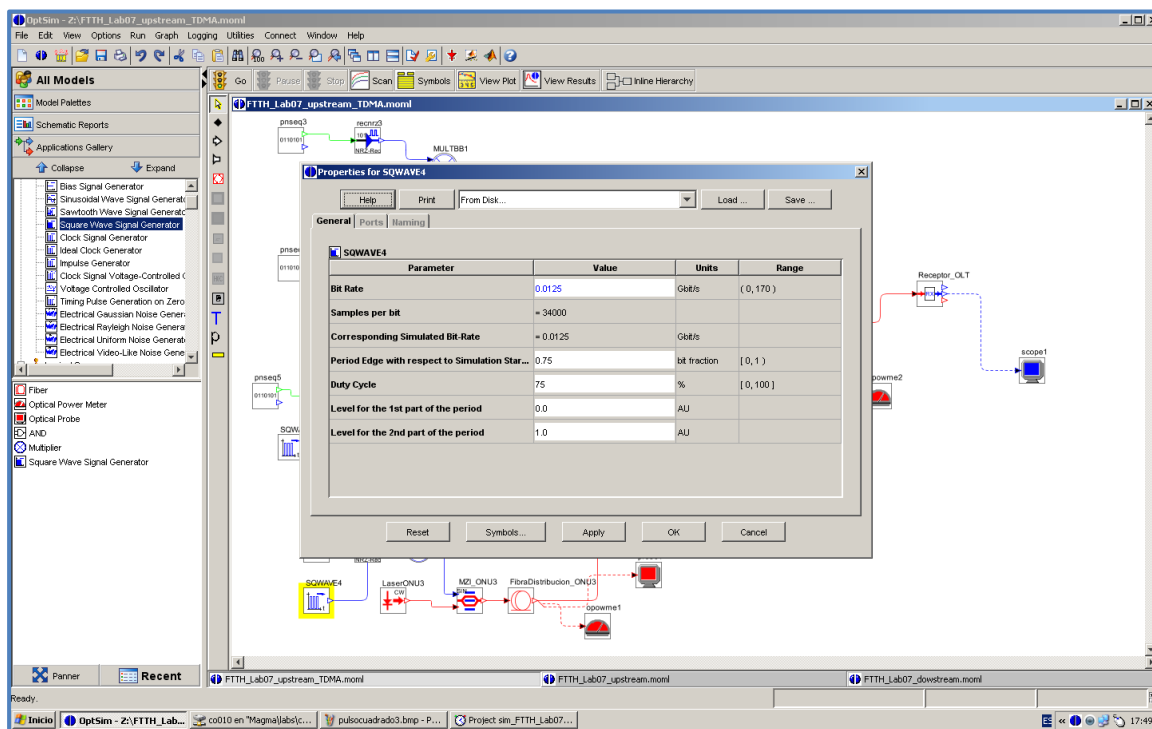


Figura 112. Parámetros de "SQWAVE4"

Antes de lanzar la simulación, no se debe olvidar configurar los parámetros de esta desde el menú "Edit" y "Simulation parameters Edit", como se explicó anteriormente. Hay que establecer una tasa de transmisión de 1,25 Gb/s y una longitud de onda de 1310 nm, que es la que corresponde al canal *upstream*. La tasa de transmisión, que se establece en los parámetros de los bloques "pnseqx" será 1.25 Gb/s. Los láseres de las 4 ONUs deben estar configurados también con esta longitud de onda y en cuanto a las potencias, en este caso se han establecido valores muy diferentes, para poder diferenciar en que momento está transmitiendo cada una de las ONUs. Las potencias establecidas para cada laser en la simulación son: para "LaserONU0" 0 dBm, para "LaserONU1" -3 dBm, para "LaserONU2" -6 dBm y para "LaserONU3" 3 dBm. La configuración de los bloques restantes es la misma que la que se indicó anteriormente, antes de introducir el multiplicador y generador de pulsos.

Una vez realizada la simulación, habrá que consultar los valores de potencia obtenidos a la salida de cada una de las ONUs, que se muestran en la Tabla 7. Estos valores nos servirán para identificar después cuando está transmitiendo cada una de las ONUs en la gráfica.

ONU	Potencia en dBm	Potencia en mW
0	-12,115 dBm	$0,61 \times 10^{-1} \text{ mW}$
1	-15,244 dBm	$0,299 \times 10^{-1} \text{ mW}$
2	-17,827 dBm	$0,165 \times 10^{-1} \text{ mW}$
3	-9,108 dBm	$0,123 \text{ mW}$

Tabla 7. Potencia a la salida de las ONTs/ONUs

En la Figura 113, se muestra el diagrama de la potencia recibida después del *splitter*. Para visualizarlo habrá que pulsar con el botón derecho del ratón sobre “probe2” y seleccionar “View Power Spectrum Chart”.

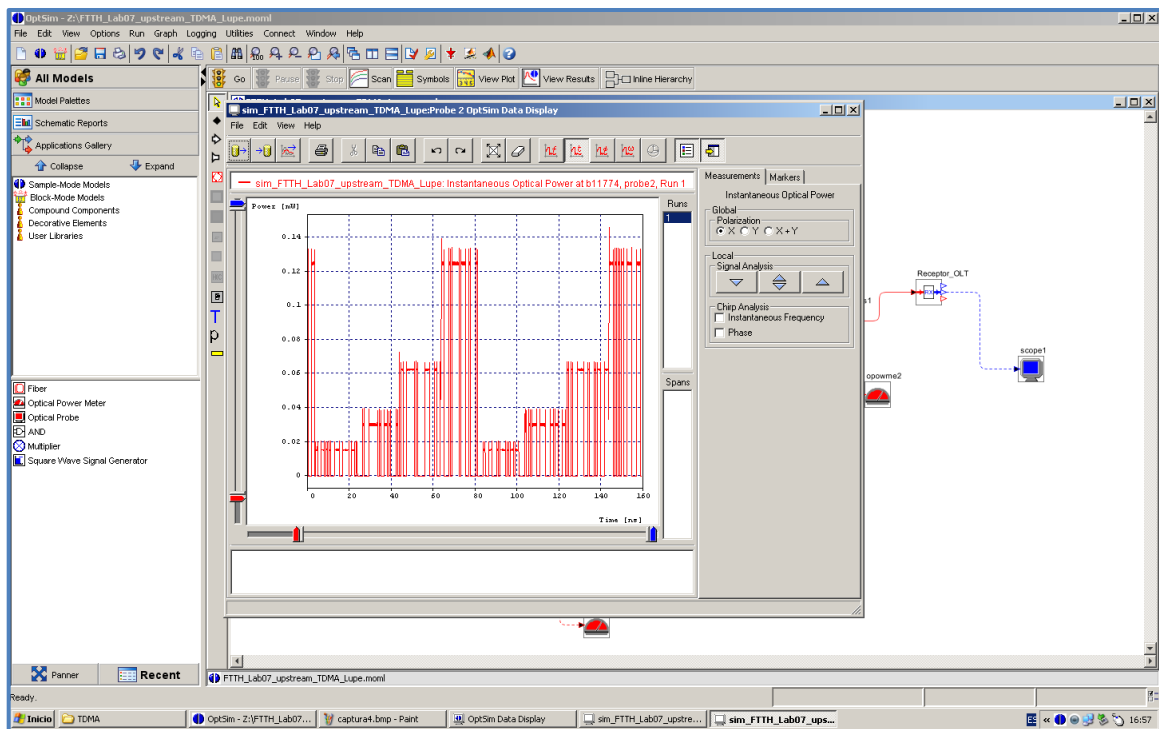


Figura 113. Potencia óptica después del *splitter* con todas las señales combinadas

Los valores son los mismos que se muestran en la Tabla 7, lo que nos permitirá identificar cuando transmite cada ONU y durante cuanto tiempo. Así también se puede comprobar que las ONUs nunca transmiten al mismo tiempo, ya que sino los valores de potencia no coincidirían. Para medir los valores que aparecen en esta gráfica, se ha utilizado el marcador rojo que se encuentra a la izquierda, como se muestra en el ejemplo de la Figura 114.

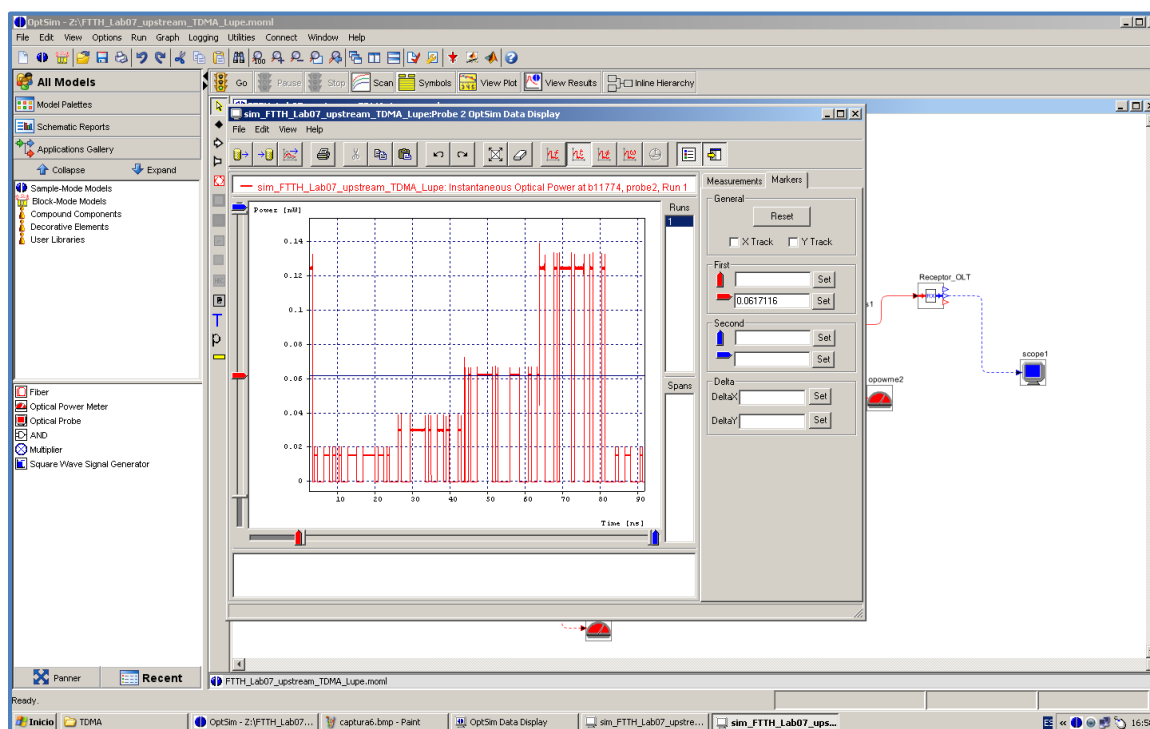


Figura 114. Ejemplo de cómo comprobar el valor de potencia en la gráfica

4.6 Conclusiones

OptSim es una herramienta de simulación muy potente, sencilla e intuitiva, que cuenta con una biblioteca de componentes muy completa. Esto nos ha permitido realizar el montaje de la red de acceso GPON en el canal de subida y el de bajada, y aún haciendo pequeños cambios para simplificar el esquema los resultados obtenidos son muy satisfactorios. En primer lugar se ha podido comprobar que los resultados obtenidos se ajustan a los cálculos teóricos, y se encuentran dentro de los valores soportados por los diferentes dispositivos de la red real que se encuentran en el laboratorio.

Además, tomando como referencia un trabajo anterior, en el que se realizaron las medidas de potencia en la red real, se ha podido comprobar que los resultados obtenidos mediante la simulación se aproximan bastante a los valores reales. Teniendo en cuenta que los valores que hemos utilizado para la atenuación de la fibra y las pérdidas de los diferentes componentes del esquema son mayores que los de la red de acceso real, tenemos un cierto margen en el que pueden diferir los valores de potencia obtenidos.

También, se ha conseguido simular con esta herramienta el protocolo de control de acceso al medio TDMA (*Time Division Multiple Access*) y comprobar que efectivamente cada ONU transmite durante un periodo de tiempo determinado y en instantes de tiempo diferentes, tal y como se especifica en el estándar GPON.

5

Realización de un modelo en 3D del ONT y visualización en realidad aumentada

5.1 Introducción

La realidad aumentada nos permite introducir objetos virtuales en entornos reales, e incluso en ocasiones interactuar con estos objetos a través de diferentes dispositivos. En el presente capítulo se mostrará la elaboración de un modelo en 3D de uno de los principales elementos de la red de acceso, y su visualización en realidad aumentada en diferentes dispositivos, en concreto el ONT/ONU de la red GPON. Este trabajo se encuentra en una fase muy premiliar y en función del rendimiento y los resultados obtenidos en un futuro se podría evolucionar a un caso de uso en docencia más elaborado.

De este modo, el elemento que se ha escogido inicialmente es la ONT/ONU, que corresponde al equipo del usuario. Asimismo, se describirá el software utilizado, su interfaz y sus características principales, tanto para la elaboración del modelo 3D como para su visualización. Para la elaboración del diseño en 3D se ha utilizado Blender y para crear la escena de realidad aumentada y visualizarla *Aumentaty Author*.

Por ultimo, se mostrarán los resultados obtenidos y su visualización a través de varios dispositivos. El principal objetivo es poder interactuar de algún modo con la red de acceso a través de diferentes dispositivos y así hacerla más visual y llamativa.

5.2 Blender: software para diseño gráfico en 3D

Blender es un software libre y de código abierto, que actualmente se encuentra disponible para su uso en todas las versiones de los sistemas operativos más utilizados (Windows, Mac OS X, Linux, Android) [21]. Es un programa dedicado principalmente a la edición y creación de gráficos en 3D, pero también cuenta con otras muchas herramientas interesantes. Sus funcionalidades principales son las siguientes:

- Modelado rápido: Blender cuenta con una amplia variedad de herramientas para que la creación y edición de sus modelos sea más sencilla.
- Renderizado: es el proceso mediante el cual se genera una imagen tridimensional a través de la unión de diferentes figuras geométricas, para emular un entorno real. El programa cuenta con un motor de renderizado muy potente, que permite emular infinidad de materiales, luces y estructuras diferentes.
- Herramientas de animación: posee un editor para la animación de personajes y escenas.
- Herramientas de simulación: incluyen la simulación de fluidos, humo, cabello, tejidos y partículas, pudiendo simular escenas muy completas, como por ejemplo, escenas con lluvia.
- Creación de videojuegos: Blender permite la creación de un juego completo, desde los modelos de los personajes hasta la lógica del juego. Además también pueden reproducirse juegos en el programa de manera sencilla.
- Seguimiento de cámara y objetos: esta herramienta permite realizar un seguimiento de las imágenes y ver los movimientos de la cámara en vivo en la escena 3D.
- Edición de vídeo: la herramienta de edición de vídeo permite realizar todo tipo de tareas, tales como cortes y empalmes en el vídeo, mezcla y sincronización de audio, máscaras, efectos y más.

El software además cuenta con una amplia biblioteca de extensiones, que se puede activar o desactivar de forma sencilla. También soporta gran cantidad de formatos de imagen, vídeo y diseño 3D. Cuenta con gran variedad de elementos geométricos,

incluyendo curvas y mallas poligonales o vacías. Blender cuenta con una interfaz muy completa y atractiva, que se muestra en la Figura 115. Su uso es sencillo ya que todas las herramientas se encuentran distribuidas en diferentes pestañas visibles en la pantalla principal, lo que facilita su acceso. Además, permite dividir su visor, pudiendo personalizar varias vistas del modelo desde diferentes perspectivas al mismo tiempo.

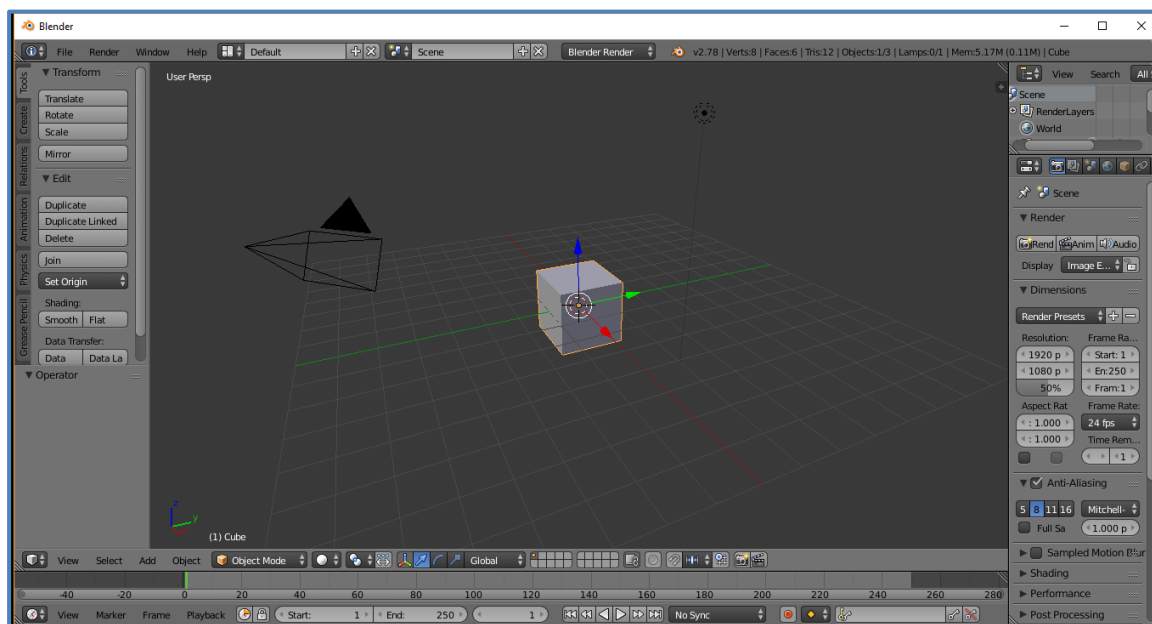


Figura 115. Interfaz del programa 3D Blender

Para la creación del modelo en 3D de la ONU/ONT, que se muestra en la Figura 58, se ha utilizado este programa. El modelo se ha creado partiendo de un cubo que aparece en la pantalla inicial del programa, como el que se observa en la Figura 71. Para comenzar el diseño se ha recudido la altura del cubo. Después, realizando varias subdivisiones en cada cara del cubo se ha deformado con el objetivo de redondear vértices y esquinas. Además, para añadir otros elementos como las antenas y diferentes conectores se han utilizado otras formas geométricas de las que dispone el programa, realizando cambios similares a los que se hicieron en el cubo inicial. Por último, una vez tenemos todas las figuras en la posición deseada se combinan para crear el diseño final. Además, tal y como se observa en la Figura 116 también se ha añadido texto descriptivo de diferentes componentes del dispositivo.

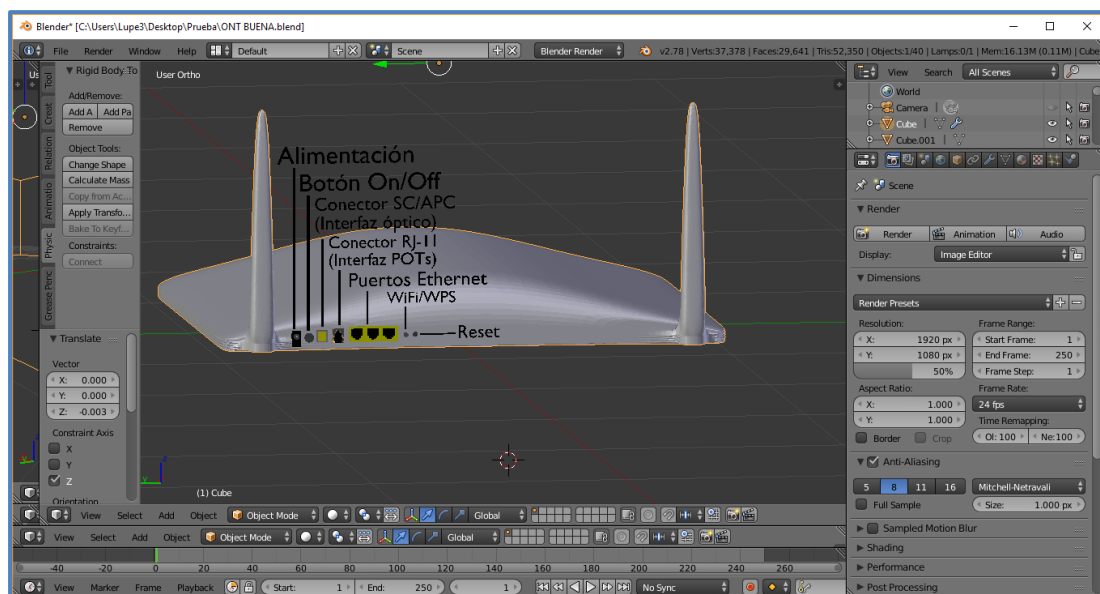


Figura 116. Creación del modelo de la ONT/ONU

5.3 *Aumentaty Author*: herramienta para la generación de contenidos de Realidad Aumentada

Aumentaty Author es una herramienta para generar contenidos en Realidad Aumentada. Cuenta con una biblioteca de marcadores propios, que se utilizan para reconocer el espacio tridimensional que muestra la cámara del dispositivo utilizado y posicionar los modelos en 3D [22]. Un ejemplo de uno de estos marcadores se muestra en la Figura 117.

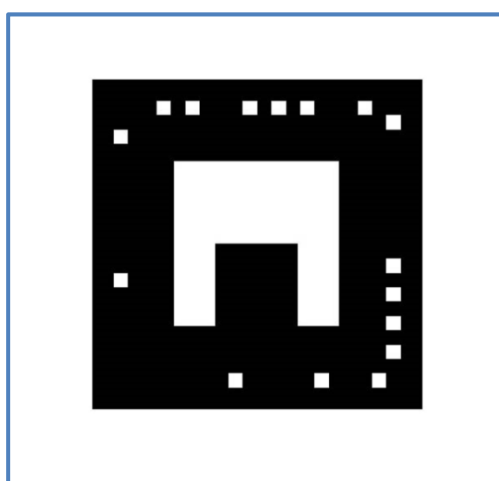



Figura 117. Marcador de *Aumentaty Author*

Este programa permite crear escenas de realidad aumentada sin tener muchos conocimientos en esta área y de manera muy sencilla. En la Figura 118 se muestra la interfaz del programa. En la parte izquierda se encuentran los modelos 3D y marcadores disponibles. Para crear una escena basta con arrastrar uno de los modelos al marcador deseado, de manera que quedarán asociados. Pulsando el icono  se activará la cámara web del ordenador y se podrá ver la escena creada, de manera que cuando ese marcador se enfoque con la cámara aparecerá el modelo seleccionado encima de él.

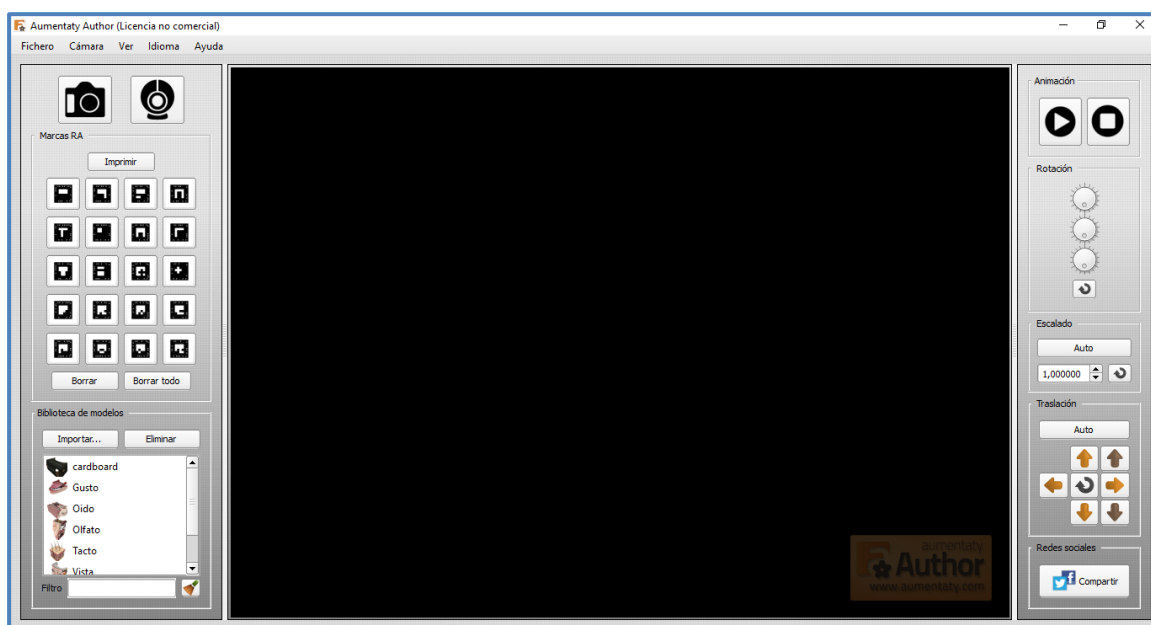


Figura 118. Interfaz de la herramienta *Aumentaty Author*

Para crear la escena, en primer lugar se ha importando el modelo de la ONU/ONT creado en Blender, como se mencionó anteriormente. El modelo se importa pulsando el botón “*Importar*”, que se encuentra en la parte izquierda de la interfaz, encima de los modelos ya disponibles. Una vez se encuentra disponible el modelo, lo seleccionamos y arrastramos con el ratón hasta uno de los marcadores (parte izquierda superior), en este caso se ha elegido el que aparece en la parte superior izquierda. Una vez se ha asociado el modelo a un marcador este aparecerá resaltado en color naranja, tal y como se observa en la Figura 119. Una vez creada la escena podemos modificarla con el menú que se encuentra a la derecha. El menú “*Rotación*” consta de 3 ruedas, que sirven para rotar el modelo, cada rueda en uno de los ejes x, y o z. En el menú “*Escala*” se puede cambiar

el tamaño del modelo de la ONU. En el menú “*Traslación*” se observan unas flechas, que permiten modificar la posición del modelo respecto al marcador.

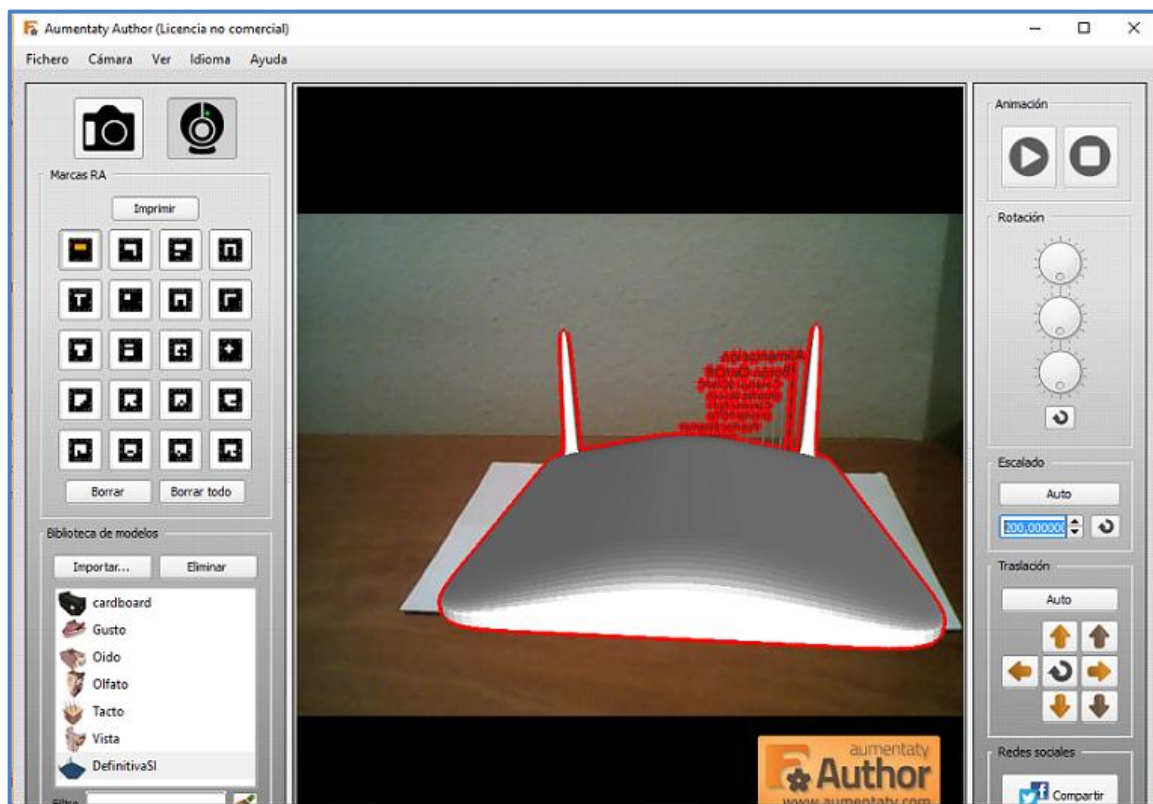


Figura 119. Escena de realidad aumentada con el modelo 3D de la ONT/ONU

Las escenas creadas con este software se guardan en formato *.atx2*, un formato propio del programa que después permite ver la escena con *Aumentaty Viewer* como se mostrará a continuación. También permite exportar escenas para visualizar en dispositivos móviles, en este caso en formato *.atm2*. La aplicación *Aumentaty Viewer* para visualizar las escenas está disponible tanto para dispositivos Android como iOS. Es importante mencionar que para poder exportar las escenas a *Aumentaty Viewer* para dispositivos móviles los diseños 3D deben estar en formato *.obj*.

5.4 Resultados del modelado en 3D del ONT/ONU

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la representación en 3D del ONT de la red GPON del laboratorio. Como se ha mostrado anteriormente el diseño de la ONT en 3D se ha realizado utilizando Blender [21]. En la Figura 120 se muestra la vista frontal del modelo en 3D realizado para reproducir una de las ONT de la red.

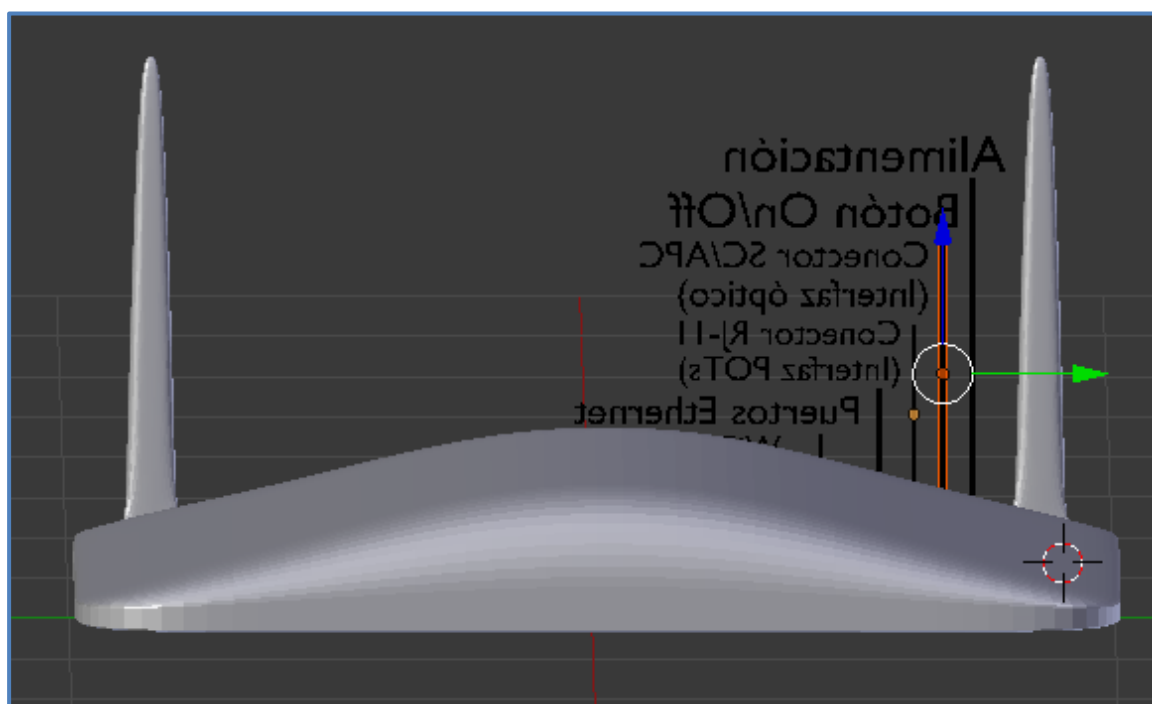


Figura 120. Vista frontal del modelo 3D del ONT/ONU

En la Figura 121 se muestra la vista de la parte trasera, en la que se ha detallado qué es cada uno de los conectores y botones.

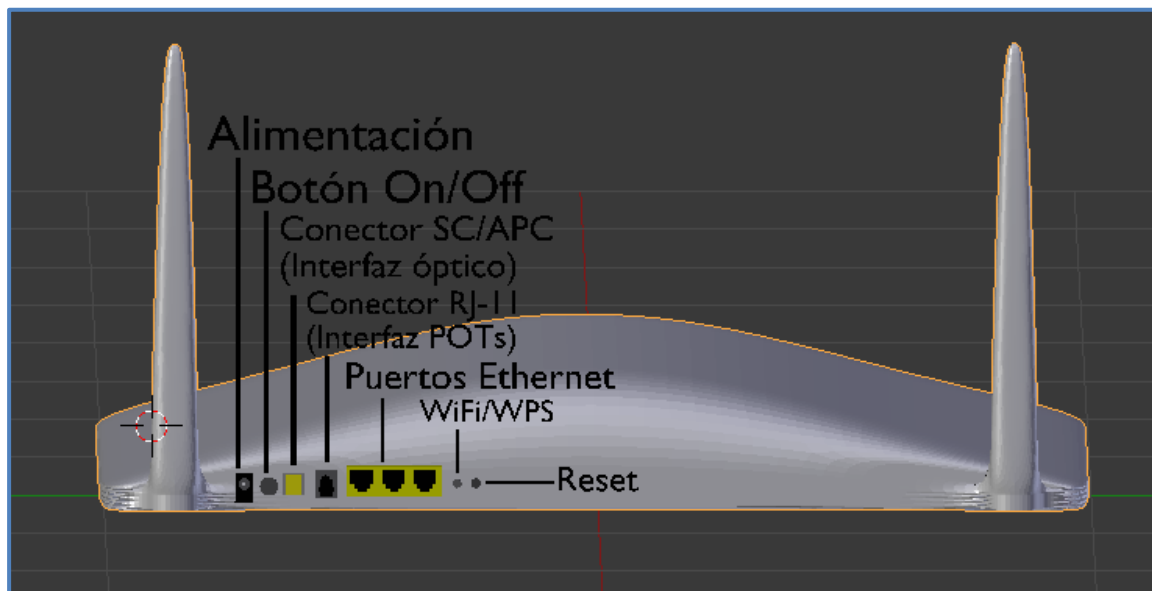


Figura 121. Vista de la parte trasera del modelo 3D del ONT/ONU

Para crear la escena se ha utilizado *Aumentaty Author* [22]. Se ha importado el diseño 3D y se ha asociado con uno de los marcadores, como se explicó antes. Una vez hecho esto se ha guardado una escena en formato *.atx2* y otra en formato *.atm2*. Estas escenas permitirán visualizar nuestro modelo de la ONT/ONU cuando se enfoque el marcador asignado con la cámara de un ordenador o de un dispositivo móvil, utilizando la aplicación *Aumentaty Viewer*.

A continuación se muestra la visualización de la escena creada para la visualización de este modelo a través de la cámara de un ordenador tal y como se observa en la Figura 120 (vista frontal) y la Figura 121 (vista trasera). En la Figura 122 y Figura 81 se muestra la visualización de la escena a través de un dispositivo móvil Android. Como se observa, existen diferencias dependiendo del dispositivo, aunque se utiliza la misma aplicación. Esto se debe a que los cambios realizados en la escena (cambio de tamaño, rotación del modelo, etc.) no se guardan en el formato *.atm2*. En este caso, se ha aumentado el tamaño del modelo para su visualización en el ordenador.

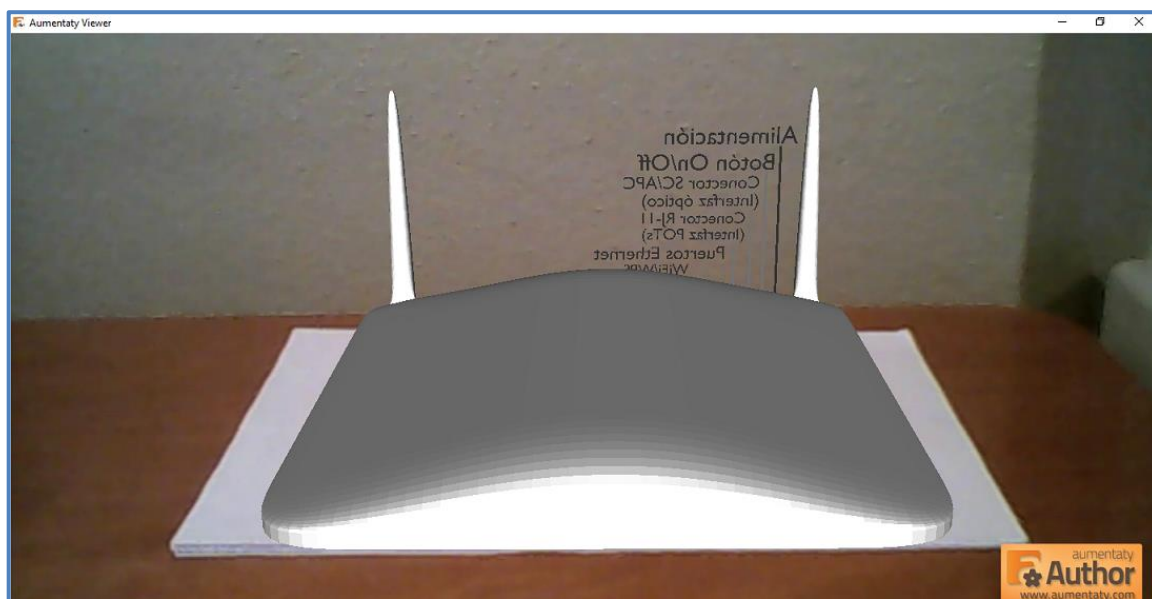


Figura 122. Vista frontal del ONT/ONT con *Aumentaty Viewer*

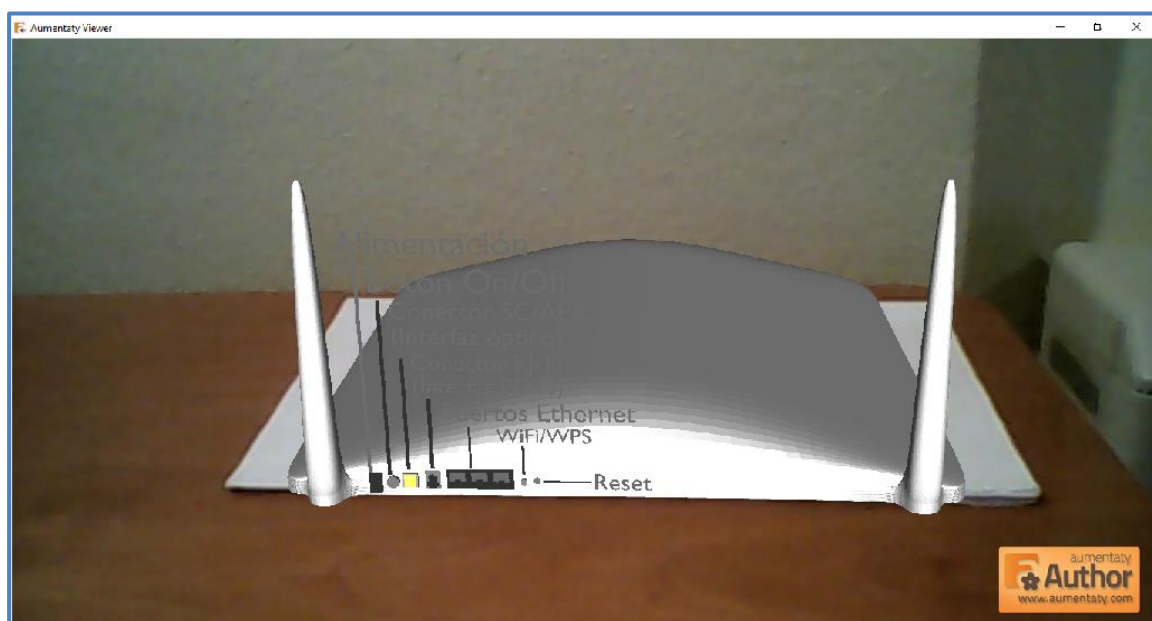


Figura 123. Vista trasera del ONT/ONU con *Aumentaty Viewer*

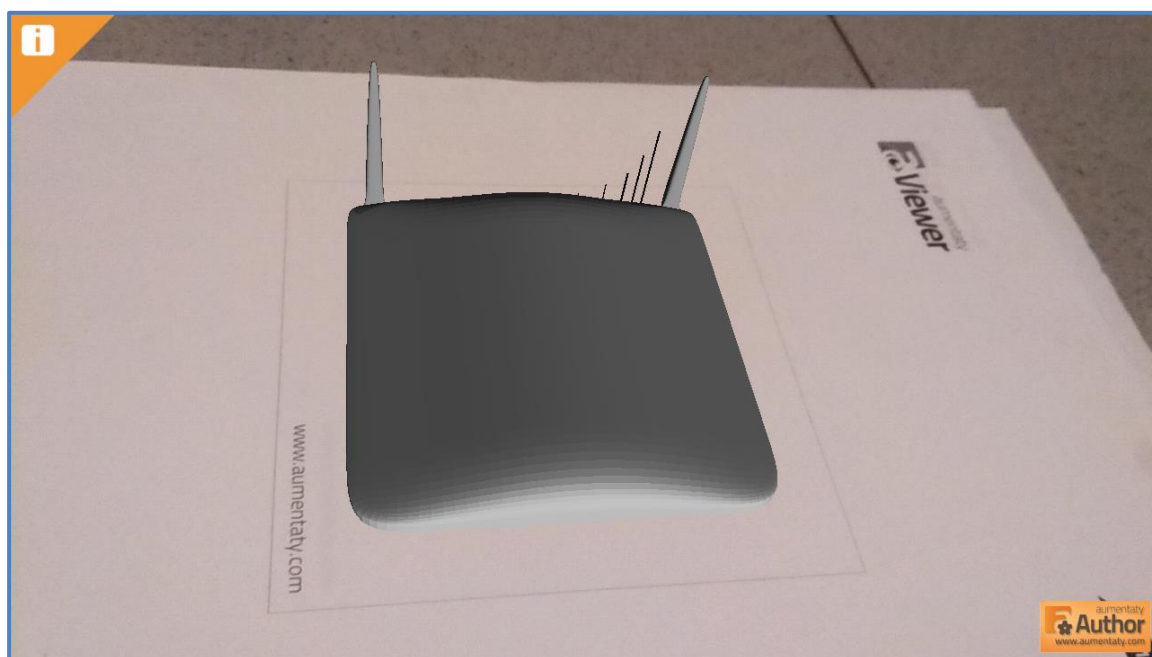


Figura 124. Vista frontal del ONT/ONU en 3D con *Aumentaty Viewer* para móvil

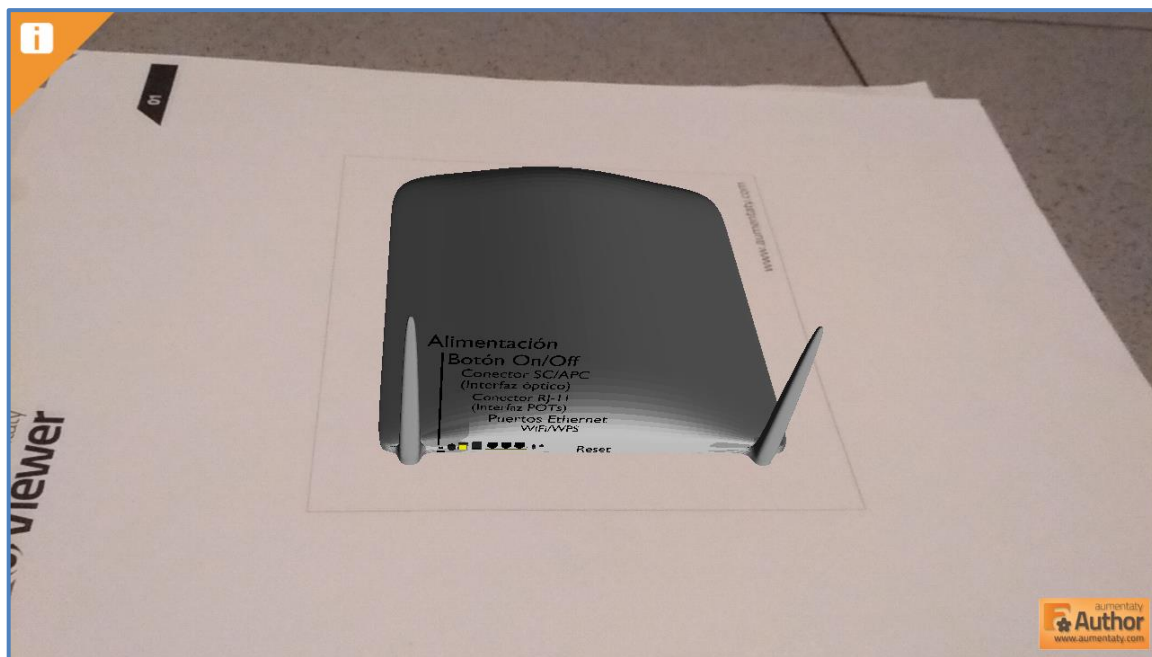


Figura 125. Vista trasera del ONT/ONU en 3D con *Aumentaty Viewer* para móvil

5.5 Conclusiones

La realidad aumentada permite introducir objetos virtuales en el mundo real y visualizar esta escena a través de diferentes dispositivos. Se trata de una tecnología muy visual y atractiva que tiene aplicaciones en áreas muy diversas, como el entretenimiento (videojuegos), la publicidad, el ámbito educativo, etc. Además, existen herramientas de software muy completas y de uso sencillo con las que cualquiera tiene acceso a contenidos de realidad aumentada o puede crear los suyos sin conocer la materia en profundidad.

En este capítulo se ha creado una representación en 3D de uno de los elementos principales de la red, el dispositivo del usuario denominado ONU/ONT. La creación de este modelo, permite familiarizarse con uno de los dispositivos más importantes de la red además de conocer sus características con un mayor detalle. También, nos permite también interactuar de forma dinámica con el equipo a través de diferentes dispositivos, como un ordenador, un *Smartphone* o una *Tablet*, de una manera muy visual y llamativa. Igualmente, nos permite interactuar con la red de acceso ya que se trata de uno de sus elementos, y podemos cambiar la posición del marcador de manera que se visualice el diseño en 3D en la posición del ONT en la red.

6

Conclusiones y Líneas Futuras

6.1 Conclusiones

En este Trabajo Fin de Grado se ha llevado a cabo el desarrollo de un conjunto de prácticas educativas para la gestión de una red de acceso real GPON a nivel del operador, y también un análisis a nivel físico utilizando como herramienta de simulación OptSim. También se ha realizado el diseño en 3D de uno de los elementos principales de la red de acceso, la ONU/ONT (dispositivo de usuario), y se ha combinado este diseño con la realidad aumentada para complementar el trabajo anterior con una práctica más interactiva.

Para la realización de estas tareas, en primer lugar se ha recopilado información sobre la red de acceso y los elementos que la componen, así como del modo de gestión TGMS, que ha sido el utilizado para gestionar y configurar la red en este trabajo. También se ha realizado un pequeño estudio de mercado para conocer la oferta de los principales operadores actuales. Después, en el Capítulo 3, se ha descrito paso a paso la forma de configurar varios perfiles de abonado con servicios diferentes (Internet y vídeo), utilizando el modo de gestión TGMS, descrito en el Capítulo 2. De este modo, se ha comprobado que la red de acceso del laboratorio permite configurar los mismos servicios que un proveedor de servicio real y por lo tanto los alumnos podrán desarrollar una práctica de gestión de una red muy realista.

En segundo lugar, se ha llevado a cabo un análisis a nivel físico de la red GPON, utilizando OptSim como herramienta para la simulación de los dos canales de transmisión. Para ello, se ha realizando un montaje de la red en esta plataforma y se han examinado diferentes parámetros, tales como la potencia óptica, *BER* (*Bit Error Rate*), diagramas de ojos y espectros de señal ópticos. Tomando como referencia el trabajo

realizado en un Trabajo de Fin de Grado anterior, se ha comprobado que los valores de potencia óptica obtenidos a partir del diseño y simulación con OptSim concuerdan con los obtenidos a partir de la red de acceso del laboratorio, tanto en el canal ascendente (*upstream*) como en el canal descendente (*downstream*). Así mismo, a partir de los diagramas de ojos y los valores de la *BER* obtenidos se puede concluir que la calidad de la transmisión es muy buena, por lo que se concluye que la red es totalmente operativa a nivel físico. De este modo, los alumnos podrán diseñar y simular una red real de acceso óptica GPON y cotejar los resultados con los obtenidos a nivel real en la red.

Por último, se ha realizado el diseño de un modelo en 3D de la ONT/ONU, el dispositivo del usuario, utilizando Blender. Para la visualización de este modelo en una escena de realidad aumentada se ha utilizado *Aumentaty Author* para crear y guardar la escena, y *Aumentaty Viewer* para su posterior visualización en diferentes dispositivos. Así, se podrá complementar la realización de las prácticas anteriores con algo más atractivo y visual y lo planteamos como un paso preliminar para la integración de la realidad aumentada en nuestra docencia.

6.2 Líneas Futuras

La realización de la configuración de los servicios de internet y vídeo, tal y como lo haría el proveedor de servicio, ha favorecido la aparición de nuevas líneas de trabajo una vez concluido este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, podría montarse un servidor de vídeo personalizado con un interfaz de acceso tipo Netflix [24]. Este objetivo ya se está realizando y permitiría a los alumnos adquirir un mayor conocimiento de un servidor web real y cómo realizar tareas de gestión y configuración a un nivel más completo.

También podría intentar montarse un servidor de telefonía, complementando así los servicios de Internet y vídeo, ofreciendo así la red de acceso GPON todos los servicios que ofrece un proveedor de servicios actualmente y los alumnos adquieran un conocimiento más completo los servicios más típicamente gestionados por un operador o proveedor de servicios.

Por otro lado, también podría plantearse la idea de aumentar el número de prácticas en relación al gestión y configuración de la red de acceso, ahondando más a en el propio estándar GPON. De este modo, se plantería una configuración de los servicios y perfiles de abonado utilizando el modo de gestión CLI (*Command Line Interface*)

proporcionado por el fabricante de los equipos, y que ofrece un control de la red a un nivel más bajo utilizando entidades y comandos propios del estándar GPON. Este tipo de prácticas le darían la oportunidad al alumno de poder ahondar más a nivel de protocolos en una red de acceso real.

En relación con la parte de realidad aumentada podría realizarse un diseño en 3D del OLT, dispositivo del operador, de la misma manera que se realizó el dispositivo del usuario (ONT/ONU).

7

Bibliografía

- [1] C.-H. Lee, W. V. Sorin, and B. Y. Kim, “Fiber to the home using a PON infrastructure”, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 24, no. 12, pp. 4568–4583, Dec. 2006.
- [2] K. Grobe and J.-P. Elbers, “PON in adolescence: From TDMA to WDM-PON”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 1, pp. 26–34, Jan. 2008.
- [3] G.-K. Chang, A. Chowdhury, Z. Jia, H.-C. Chien, M.-F. Huang, J. Yu, and G. Ellinas, “Key technologies of WDM-PON for future converged optical broadband access networks”, *Journal of Optical Communication Networking*, vol. 1, no. 4, pp. C35–C50, 2009.
- [4] Y. Li, J. Wang, C. Qiao, A. Gumaste, Y. Xu, and Y. Xu, “Integrated fiber-wireless (FiWi) access networks supporting inter-ONU communications”, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 28, no. 5, pp. 714–724, Mar. 2010.
- [5] A. Banerjee, G. Kramer, Y. Ye, S. Dixit y B. Mukherjee, “Advances in Passive Optical Networks (PONs)”, en *Emerging optical network technologies: Architectures, Protocols and Performance*, K. M. Sivalingnan y S. Subramaniam, Eds. Spring Street, Nueva York: Springer 2005.
- [6] G. Kramer, B. Mukherjee, G. Pesavento, “IPACT: A dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 40(2), pp. 74–88, Dic. 2002.

- [7] G. Kramer, B. Mukherjee, G. Pesavento, "Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time (IPACT): A Dynamic Bandwidth Distribution Scheme in an Optical Access Network," *Photonic Network Communications*, vol. 4(1), pp. 89-107, Dec. 2002.
- [8] B. Lung, "PON architecture Future proofs FTTH," *Lightwave*, vol. 16(10), pp. 104-107, Nov. 1999.
- [9] M. Pesavento y A. Kesley, "PONs for the Broadband Local Loop," *Lightwave*, vol. 16(10), pp. 68-74, Nov. 1999.
- [10] IEEE 802.3 (2006) Call For Interest: 10 Gbps PHY for EPON. Disponible en: <http://www.ieee802.org/3/cfi>.
- [11] Página Web Oficial de OMNeT++: <http://www.omnetpp.org/>
- [12] Versión 1 del Generador de tráfico *Self-Similar* desarrollado por Kramer. Disponible en: http://www.wcsif.cs.ucdavis.edu/~kramer/code/trf_gen1.html.
- [13] Versión 3 del Generador de tráfico *Self-Similar* desarrollado por Kramer. Disponible en: http://www.wcsif.cs.ucdavis.edu/~kramer/code/trf_gen3.html.
- [14] T. Berisa, A. Bazant, V. Mikac, "Bandwidth and delay guaranteed polling with adaptative cycle time (BDGPACT): a scheme for providing bandwidth and delay guarantees in passive optical networks", *Journal of Optical Networking*, Vol. 8, Issue 4, April, 2009.
- [15] B. Kantarci, H.T. Mouftah, "Delay-Constrained Admission and Bandwidth Allocation for Long-Reach EPON", *Journal of Networks*, Vol. 7, Issue 5, May 2012.
- [16] Página web oficial de Movistar: <http://www.movistar.es/particulares/internet/adsl-fibra-optica/fibra-optica/>
- [17] Página web oficial de Orange: <http://fibra.orange.es/>
- [18] Página web oficial de Jazztel: <https://www.jazztel.com/adsl-movil/packs-ahorro-fibra.html#.WVA12I7yjIU>
- [19] Página web oficial de Vodafone: <https://www.vodafone.es/tienda/particulares/es/internet-y-fijo/fibra-ono-fijo/>

[20] Página web oficial de Yoigo: <http://www.yoigo.com/fibra-optica/>

[21] Página web official de Blender: <https://www.blender.org>

[22]Página web oficial Autmentaty Author: <http://author.aumentaty.com/>

[24] Netflix España: <https://www.netflix.com/es/>